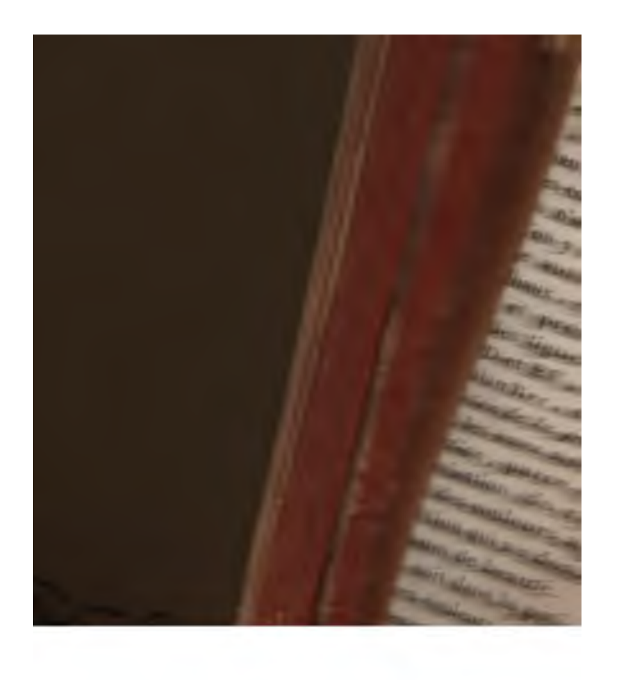

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06644273 6







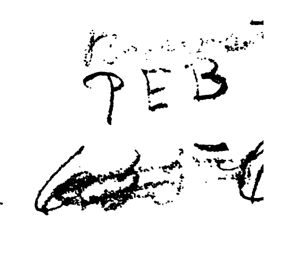












MANUEL
D'OPTIQUE.

I.

MANUEL
D'OPTIQUE,

OU

TRAITÉ
COMPLET ET SIMPLIFIÉ
DE CETTE SCIENCE;

PAR M. BREWSTER,

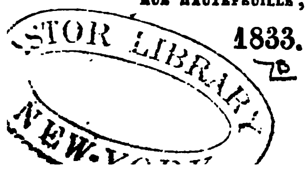
Membre correspondant de l'Institut de France, Membre honoraire de l'Académie impériale de Saint-Pétersbourg, de l'Académie royale des sciences de Berlin, Stockholm, Copenhague, Gottingue, etc.

TRADUIT PAR M. P. VERGNAUD.

Ouvrage orné d'un grand nombre de figures.

TOME PREMIER.

PARIS,
A LA LIBRAIRIE ENCYCLOPÉDIQUE DE RORET,
RUE HAUTEFEUILLE, N° 10 BIS.



1833.

[T]ABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME PREMIER.

DEUXIÈME PARTI

Optique-Physique.

INTRODUCTION.

(1.) L'OPTIQUE, dérivée d'un mot grec qui signifie *voir*, est une science qui traite des propriétés de la *lumière* et de la *vision*, par rapport à l'œil de l'homme.

(2.) La lumière est une émanation ou un fluide provenant des corps, et qui permet à l'œil de les voir.

Tous les corps visibles peuvent se diviser en deux classes, *lumineux* et *non lumineux*.

Les corps *lumineux*, tels que les étoiles, les flammes de toute espèce, et les corps qui brillent par la chaleur ou le frottement, sont ceux qui renferment en eux-mêmes la propriété de dégager de la lumière. Les corps *non-lumineux* sont ceux qui n'ont pas le pouvoir de donner de la lumière, mais qui réfléchissent la lumière qui leur est envoyée par les corps lumineux. Un corps non-lumineux peut recevoir de la lumière d'un autre corps

non-lumineux et la réfléchir sur un troisième, mais en tous cas, la lumière vient d'abord d'un corps lumineux. Lorsqu'on apporte une chandelle allumée dans une chambre sombre, on distingue la forme de sa flamme par la lumière qu'elle émet, mais on ne voit les objets qui sont dans la chambre que par la lumière qu'ils reçoivent de la chandelle, et qu'ils réfléchissent; les autres objets sur lesquels n'arrivent pas la lumière de la chandelle, reçoivent la lumière transmise par la blancheur du plafond et des murs, ce qui les rend visibles à l'œil.

(3.) Tous les corps lumineux ou non-lumineux renvoient la lumière de la même couleur qu'eux. Une flamme *rouge* ou un corps chauffé au rouge rendent une lumière *rouge*. Un morceau de drap *rouge* rend une lumière *rouge*, quoiqu'il soit éclairé par la lumière *blanche* du soleil.

(4.) La lumière sort de tous les points d'un corps éclairé ou lumineux, et dans chaque direction où le point est visible. Si l'on regarde la flamme d'une chandelle, ou une feuille de papier blanc, et qu'on

les agrandisse autant que possible, on ne verra aucun point sans lumière.

(5.) La lumière se meut en lignes droites, et se compose de parties séparées et indépendantes nommées *rayons* de lumière. Si, au moyen d'un petit trou, on fait entrer la lumière du soleil dans une chambre obscure, cette lumière éclairera sur le mur la partie exactement opposée au soleil : le milieu de la partie éclairée, le milieu du trou et le milieu du soleil seront sur la même ligne droite ; s'il y a dans la chambre de la poussière ou de la fumée, on verra distinctement la lumière se mouvoir en lignes droites. Si l'on arrête une petite portion de la lumière, et qu'on laisse passer le reste, ou, si l'on arrête presque toute la lumière, et qu'on n'en laisse passer que le moins possible, la partie qui passe n'est aucunement affectée par sa séparation du reste. La plus petite portion de lumière que nous puissions arrêter ou laisser passer s'appelle un rayon de *lumière*.

(6.) La lumière se meut avec une vitesse de 192,500 milles (environ 32,000

myriamètres) par seconde. Elle va du soleil à la terre en sept minutes et demie. Elle fait un chemin égal à la circonférence de notre globe en un huitième de seconde, ce que l'oiseau le plus léger ne pourrait faire en moins de trois semaines.

(7.) Lorsque la lumière arrive sur un corps quelconque, une partie est réfléchie ou renvoyée, et le reste pénètre dans ce corps, s'y perd ou le traverse. Lorsque le corps est brillant et bien poli, comme *l'argent*, une grande partie de la lumière est réfléchie, le reste se perd dans l'argent, qui ne peut transmettre la lumière que lorsqu'il est battu en feuille extrêmement mince. Lorsque le corps est transparent, comme le *verre* ou l'*eau*, presque toute la lumière le traverse, et il y en a bien peu qui soit réfléchie. La lumière qui ressort des corps est réfléchie par des lois particulières, dont l'explication forme la branche d'optique appelée *catoptrique*; la lumière transmise par les corps transparens est transmise suivant des lois particulières dont l'explication forme le sujet de la *dioptrique*.

MANUEL
D'OPTIQUE.

PREMIÈRE PARTIE.

DE LA RÉFLEXION ET DE LA RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE.

CATOPTRIQUE.

(8.) La catoptrique est la partie de l'optique qui traite des progrès et de la direction des rayons de lumière, après qu'ils ont été réfléchis par des surfaces planes ou sphériques, et de la formation des images des objets placés devant ces surfaces.

CHAPITRE PREMIER.

Réflexion au moyen de Specula et de Miroirs.

(9.) Toute substance d'une forme régulière, dont on se sert pour réfléchir la lumière ou former l'image de quelque objet, se nomme *speculum* ou *miroir.* Il se fait en général de métal ou de verre, et sa surface est extrêmement polie. Le nom de miroir se donne ordinairement aux réflecteurs en verre; le verre est toujours étamé par derrière, pour mieux réfléchir la lumière. Le mot *speculum* s'applique à un réflecteur en métal, tels que ceux d'argent, d'acier, ou d'alliage de cuivre et d'étain en grenailles.

(10.) Les *specula* ou *miroirs* sont *planes*, *concaves* ou *convexes*. Un *speculum plane* est celui qui est parfaitement uni, comme une glace. Un *speculum concave* est celui qui est creux comme le dedans d'un verre de montre; et un *speculum convexe* est celui qui est en bosse comme le dehors d'un verre de montre. La lumière qui tombe sur les miroirs en verre étant interceptée par le verre avant d'être réfléchie par le vif-argent, nous supposerons que tous nos miroirs sont en métal poli, ainsi que cela a lieu dans presque tous les instrumens d'optique.

(11.) Lorsqu'un rayon de lumière AD (fig. 1), tombe sur un speculum plane MN, au point D, il est réfléchi ou repoussé dans une direction DB, qui,

relativement à DE, droite perpendiculaire sur MN, est aussi inclinée que AD, c'est-à-dire, que l'angle BDE est égal à l'angle ADE, ou que les deux arcs circulaires BE, EA sont égaux.

Le rayon AD s'appelle *rayon incident*, et DB *rayon réfléchi*; ADE *l'angle d'incidence*, et BDE *l'angle de réflexion*. Le plan qui passe par AD et DB, ou le plan qui contient ces deux lignes s'appelle *plan d'incidence* ou *de réflexion*.

(12.) Lorsque le speculum est *concave* comme MN (fig. 2), si G est le centre du cercle, dont MN est une partie, le rayon incident AD, et le rayon réfléchi DB, forment avec la ligne GD, perpendiculaire à la petite surface du speculum, sur laquelle le rayon tombe en D, deux angles égaux. Ainsi, dans ce cas, l'angle d'incidence ADE est égal à l'angle de réflexion BDE.

(13.) Lorsque le speculum est convexe, comme MN (fig. 3), soit C le centre du cercle dont MN est une partie, et CE une normale menée par D, l'angle d'incidence ADE est égal à l'angle de réflexion BDE.

L'expérience a prouvé la vérité de ces résultats, et on peut s'en assurer en faisant passer un rayon de la lumière du soleil par un trou fait dans un volet: en le faisant tomber sur les miroirs MN, dans la direction AD, on le verra réfléchi dans la direction DB. Si l'on fait approcher le rayon incident AD de la perpendiculaire DE, le rayon réfléchi DB en approchera aussi; et si le rayon AD tombe dans la direc-

la lumière tombe sur une surface quelc
ou courbe, l'angle de réflexion est ég
d'incidence.

Cette loi donne un tracé qui peut êtr
néralement pour trouver la direction d
chi, lorsqu'on connait celle du rayon
par exemple, AD (fig. 1, 2, 3) est
dans laquelle le rayon incident tombe
au point D, tirez (dans la figure 1) la
laire DE, et, dans les figures 2 et 3, ti
de D à G ou centre de la surface courbe
D comme centre, ayant décrit un cer
prenez au compas la distance AE, et
E à B. Tirant une ligne de D à B, DB
tion du rayon réfléchi.

RÉFLEXION DES RAYONS PAR DES MIRO

(15.) *Réflexion des rayons parallèles*
rayons parallèles ou équidistans AD,
tombent sur un miroir plane MN, ils

entre A'D' et D'E', tirant alors les deux lignes DB, D'B', on verra que ces lignes sont parallèles. Si l'espace qui est entre AD et A'D' est rempli d'autres rayons parallèles à AD, de manière à former un assemblage de rayons parallèles ou une masse de lumière AA'D'D', les rayons réfléchis seront tous parallèles à AD, et formeront une masse réfléchie et parallèle. La masse réfléchie sera cependant en sens inverse, car le côté AD, qui était en dessus avant d'être réfléchi, sera en dessous, comme DB, après la réflexion.

(16.) *Réflexion des rayons divergens.* Les rayons divergens sont ceux qui viennent d'un point A, et se séparent en avançant, comme AD, AD'. AD''. Lorsque de tels rayons tombent sur un miroir plane MN (fig. 5), ils sont réfléchis dans les directions DB, D'B', D''B'', et formeront les angles ADE, AD'E', AD''E'' égaux, chacun à chacun aux angles BDE, B'D'E', B''D''E'', les lignes DE, D'E', D''E'' étant perpendiculaires à MN, aux points D, D' D'', où tombent ces rayons. En prolongeant les rayons réfléchis en sens inverse, on voit qu'ils se rencontrent en un point A' à la même distance derrière le miroir MN, que A est devant, c'est-à-dire que si l'on mène perpendiculairement à MN la droite à ANA', A'N sera égal à AN. Ainsi les rayons ont, après avoir été réfléchis, la même divergence qu'avant. Si l'on considère AD''D comme masse divergente comprise entre AD et AD'', la masse réfléchie comprise entre DB et D''B'' partira de A', et sera en sens inverse après avoir été réfléchie.

(17.) *Réflexion des rayons convergens.* Les rayons convergens sont ceux qui vont de plusieurs points A, A', A" (fig. 6), à un point B. Lorsque de tels rayons tombent sur un miroir plane MN, ils sont réfléchis dans les directions DB', D'B', D"B', formant avec les perpendiculaires DE, D'E', D"E", les mêmes angles que les rayons incidens, et se dirigeant vers un point B', aussi loin devant le miroir que le point B' est derrière. Si l'on considère ADD"A" comme une masse convergente de lumière, D"B'D aura la même forme après avoir été réfléchie.

Dans tous ces cas, la réflexion ne fait que renverser la masse de lumière incidente, et placer le point de divergence ou de convergence de l'autre côté du miroir.

RÉFLEXION DES RAYONS PAR DES MIROIRS CONCAVES.

(18.) *Réflexion des rayons parallèles.* Soit MN (fig. 7) un miroir concave dont le centre de concavité est C, et soient AM, AD, AN, des rayons parallèles ou une masse de lumière composée de rayons parallèles tombant sur le miroir. Puisque CM, CN sont perpendiculaires à la surface du miroir aux points M et N, CMA, CNA sont les angles d'incidence des rayons AM, AN. En faisant les angles de réflexion CMF, CNF égaux à CMA, CNA, on verra que les lignes MF, NF se rencontrent en F, point situé sur la ligne AD, et ces lignes MF, NF seront des rayons réfléchis. Le rayon ACD, qui est perpendiculaire au miroir en D, parce qu'il passe par le centre C, sera

fléchi dans la direction opposée DF, de sorte que les trois rayons AD, AM et AN se rencontrent au point F après avoir été réfléchis. On trouvera de même que tous les rayons qui sont entre AM et AN, et qui tombent sur le miroir à des points situés entre M et N, seront réfléchis au même point F. Le point F, où se concentrent après leur réflexion les rayons qui tombent sur un miroir concave, s'appelle le *foyer*, parce que les rayons ainsi concentrés ont le pouvoir de brûler tout corps inflammable placé à ce point. Lorsque les rayons qui tombent sur le miroir sont parallèles, comme dans ce cas, le point F s'appelle le *foyer principal* ou le *foyer des rayons parallèles*. Lorsqu'on considère que les rayons qui forment la masse AMNA occupent un grand espace avant de tomber sur le miroir MN, et que la réflexion les concentre sur un petit espace F, il est facile à comprendre comment ils peuvent brûler des corps placés au point F.

Règle. La distance du foyer F au point le plus près ou sommet D du miroir concave MN, est dans tous les miroirs, quelle que soit leur substance, égale à la moitié de CD, rayon de la concavité du miroir.

La distance FD s'appelle la *principale distance focale* du miroir. On peut voir la vérité de cette règle en faisant la figure 7 sur une plus grande échelle, et prenant les points M et N près de D.

(19.) *Réflexion des rayons divergens.* Soit MN (fig. 8) un miroir concave dont le centre de concavité est C, et que les rayons AM, AD, AN divergent

en sortant du point A, tombent sur le miroir aux points M, D, N, et qu'ils soient réfléchis de ces points. Les lignes CM, CD, CN étant perpendiculaires au miroir aux points M, D, N, on trouvera les rayons réfléchis MF, NF, en faisant l'angle FMC égal à AMC, et FNC égal à ANC, et le point F où se rencontrent ces rayons, sera le foyer où se rencontrent après leur réflexion les rayons divergens AM, AN. En comparant la figure 7 à la figure 8, on voit que comme le rayon incident AM (fig. 8) est plus près de la perpendiculaire CM, que le même rayon figure 7, le rayon réfléchi MF est aussi plus près de la perpendiculaire CM que le même rayon (fig. 7), et comme il en est de même pour le rayon réfléchi NF, il s'ensuit que le point F (fig. 8) est plus près de C que dans la figure 7, c'est-à-dire que dans la réflexion des rayons divergens, la *distance focale* DF du miroir est plus grande que cette distance focale pour rayons parallèles.

Si l'on suppose que le point de divergence A (figure 8) ou le *point rayonnant*, comme on l'appelle, approche de C, les rayons incidens AM, AN approcheront des perpendiculaires CM, CN, et par conséquent, les rayons réfléchis approcheront de CM et de CN, c'est-à-dire que si le point rayonnant A approche du centre de concavité C, le foyer F en approche aussi, et lorsque A atteint C, F l'atteint aussi. Ainsi, lorsque des rayons divergent du centre C d'un miroir concave, ils sont tous réfléchis en arrière au même point.

Si le point rayonnant A passe par C pour aller à D, le foyer F passe par C en allant à A ; ainsi, si la lumière diverge de F, elle sera concentrée en A et les points qui étaient les points rayonnans seront les foyers. D'après cette relation ou échange entre les points rayonnans et les foyers, les points A et F ont reçu le nom de *foyers conjugués*, parce que si l'un est le point *rayonnant*, l'autre sera le point *focal*. Et, réciproquement, si, dans la figure 7, on suppose que F soit le point rayonnant, le point focal sera à une distance infinie, c'est-à-dire que les rayons ne seront point concentrés en un foyer, mais ils seront parallèles, comme MA, NA (fig. 7).

Il est clair aussi que si le point F est en *f* (fig. 9), les rayons réfléchis seront M*a*, N*a*, c'est-à-dire qu'ils divergeront d'un point A', situé derrière le miroir MN, et suivant que *f* approche de D, ils divergent de plus en plus, comme si le point A', dont ils semblaient diverger, approchait de D : le point A', derrière le miroir, d'où les rayons M*a*, N*a*, semblent venir, et où ils se rencontreraient s'ils revenaient sur eux-mêmes dans les directions *a*M, *a*N, s'appelle leur *foyer virtuel*, parce qu'ils *tendent* seulement à se rencontrer en ce foyer.

En tous cas, on peut déterminer la distance du foyer F par la projection ou par la règle suivante, le rayon CD de la concavité du miroir et la distance A'D du point rayonnant étant donnés.

Règle. Multipliez la distance A'D du point rayonnant au miroir, par le rayon CD du miroir,

et divisez ce produit par la différence du double de la distance du point rayonnant et du rayon du miroir, le quotient sera FD, distance demandée des foyers conjugués. Dans l'application de cette règle, il faut observer ce que les figures font voir, que si le double de A'D est moindre que CD comme à f (fig. 9), les rayons ne se rencontrent pas devant le miroir, mais à un foyer virtuel situé derrière. On trouvera, par la règle que nous venons de donner, la distance de ce foyer à D.

(20.) *Réflexions des rayons convergens.* Soit MN (fig. 10), un miroir concave, dont le centre de concavité est C, et que des rayons AD, AM, AN, convergens en un point A' situé derrière le miroir, tombent sur le miroir aux points M, D, N, et soient réfléchis à ce point. Les lignes CM, CD et CN, étant perpendiculaires au miroir, aux points M, D, N, on trouvera les rayons réfléchis MF, NF, en faisant l'angle FMC égal à AMC, et FNC égal à ANC, et le point F, où se rencontrent ces rayons, sera le foyer où se rencontrent les rayons convergens AM, AN. En comparant la fig. 10 à la fig. 7, il est clair que comme le rayon incident AM (fig 10), est plus éloigné de la perpendiculaire C M, que le même rayon A M (fig. 7), le rayon réfléchi M F (fig. 10), est plus éloigné de la perpendiculaire CM, que le même rayon (fig. 7), et comme il en est de même pour le rayon réfléchi NF, il s'en suit que le point F est plus éloigné de C dans la fig. 10 que dans la fig. 7, c'est-à-dire que dans la réflexion des

rayons convergens, la distance focale conjuguée DF, est moindre que pour les rayons parallèles.

Si l'on suppose que le point de convergence A' (fig. 10) approche de D, ou que les rayons AM, AN, deviennent plus convergens, les rayons incidens AM, AN, s'éloignent des perpendiculaires CM, CN, et comme les rayons réfléchis MF, NF, s'éloignent de CM et de CN, le foyer F approchera de D, et lorsque A' atteindra D, F atteindra aussi D.

Si les rayons AM, AN, deviennent moins convergens, c'est-à-dire si leur point de convergence A' s'éloigne de D vers la gauche, le foyer F s'éloignera de D vers la droite, et lorsque A' est à une distance infinie, ou si AM, AN sont parallèles comme dans la fig. 7, F sera à égale distance de D et de C.

Dans tous ces cas, la règle suivante déterminera la position du foyer F.

Règle. Multipliez la distance du point de convergence du miroir par le rayon du miroir, et divisez ce produit par la somme du double de la distance du point rayonnant et du rayon CD; le quotient sera la distance du foyer ou FD, le foyer F étant toujours devant le miroir.

RÉFLEXION DES RAYONS PAR DES MIROIRS CONVEXES.

(21.) *Réflexion des rayons parallèles.* Soit MN (fig. 11) un miroir convexe, dont le centre est C, et soient AM, AD, AN, des rayons parallèles qui tombent dessus. Prolongez les lignes CM et CN en E,

et ME, NE, seront perpendiculaires à la surface du miroir, aux points M et N. Les rayons AM, AN seront donc réfléchis dans les directions MB, NB, les angles de réflexion EMB, ENB, étant égaux aux angles d'incidence EMA et ENA. En prolongeant en sens inverse les rayons BM, BN, on verra qu'ils se rencontrent en F leur foyer virtuel derrière le miroir, et la distance focale DF pour les rayons parallèles est presque la moitié du rayon de convexité CD, pourvu que les points M et N soient près de D.

(22.) *Réflexion des rayons divergens.* Soient MN (fig. 12), un miroir convexe, C son centre de convexité, et AM, AN, des rayons divergens de A, et qui tombent sur le miroir aux points M et N, les lignes CME, CNE, seront comme avant, perpendiculaires au miroir, aux points M et N; et, par conséquent, en faisant les angles de réflexion EMB, ENB, égaux aux angles d'incidence EMA, ENA, MB et NB seront les rayons réfléchis qui, prolongés en sens inverse, se rencontrent en F, qui est leur foyer virtuel derrière le miroir.

En comparant la figure 12 à la figure 11, on voit que le rayon AM (fig. 12), est plus loin de ME que dans la figure 11, et que par conséquent le rayon réfléchi MB en sera plus éloigné. Ainsi, comme il en est de même pour le rayon NB, le point F, où se rencontrent ces rayons, est plus près de D dans la figure 12 que dans la figure 11, c'est-à-dire que dans la réflexion des rayons divergens, la distance

virtuelle focale DF est plus petite que pour les rayons parallèles.

Par la même raison, si l'on suppose que le point de divergence A approche du miroir, le foyer virtuel F en approche aussi, et lorsque A arrive à D, F y arrive aussi; si de même A s'éloigne du miroir, F s'en éloigne aussi, et lorsque A est à une distance infinie ou que les rayons sont parallèles, comme dans la figure 11, F sera à égale distance de D et de C. Dans tous ces cas, le foyer est virtuel et derrière le miroir.

CHAPITRE II.

Images formées par les miroirs.

(23.) L'IMAGE de chaque objet est une ressemblance de cet objet, qui se forme dans l'air, dans l'œil ou sur un fond blanc comme un morceau de papier blanc. Les images sont ordinairement formées par des miroirs ou des lentilles, et ressemblent tout-à-fait à l'objet par la forme et par la couleur, quoiqu'on puisse aussi les former en plaçant un écran avec une petite ouverture entre l'objet et la feuille de papier qui doit recevoir l'image. Pour le comprendre, soit CD (fig. 13) un écran, ou un volet avec une petite ouverture A, et EF une feuille de papier blanc placée dans une chambre obscure. Si l'on place en dehors du volet un objet éclairé RGB,

on verra l'image renversée de cet objet peinte sur le papier en *rgb*. Pour en comprendre la raison, supposons que l'objet RB ait trois couleurs distinctes, *rouge* à R, *vert* à G, et *bleu* à B; il est clair que la lumière *rouge* de R passe en ligne droite par l'ouverture A, et tombe sur le papier EF à *r*. De même la lumière *verte* de G tombe sur le papier à *g*, et la lumière *bleue* de B tombe sur le papier à *b*, faisant ainsi sur le papier une image renversée *rb* de l'objet RB. Comme chaque point coloré de l'objet RB a sur le papier EF un point correspondant de la même couleur, l'image *br* sera la ressemblance exacte de l'objet RB, pourvu que l'ouverture A soit très-petite. Mais si l'on augmente l'ouverture, l'image deviendra moins distincte, et sera presqu'effacée si l'ouverture est grande. La raison en est que avec une grande ouverture, deux points adjacens de l'objet jetteront leur lumière sur le même point du papier, et confondront ainsi l'image.

Il est clair, d'après la figure 13, que la grandeur de l'image *br* augmente suivant la distance du papier EF, derrière le trou A. Si A*g* est égal à AG, l'image sera égale à l'objet; si A*g* est moindre que AG, l'image sera plus petite que l'objet, et si A*g* est plus grand que AG, l'image sera plus grande que l'objet.

Comme chaque point de l'objet lance des rayons dans toutes les directions, il est clair que l'image *rb* n'est formée que par ceux qui tombent sur le petit trou A, et comme il y a très-peu de ces rayons, l'i-

mage *br* a très-peu de lumière et ne peut servir à rien en optique. Les miroirs et les lentilles remédient complètement à ce vice de la formation des images.

(24.) *Formation des images par des miroirs concaves.* Soit AB (fig. 14), un miroir concave dont le centre est C, et soit MN un objet placé à quelque distance devant. De tous les rayons lancés dans chaque direction par le point M, le miroir ne reçoit que ceux qui sont entre MA et MB, ou un cône de rayons MAB, dont la base est le miroir circulaire, déterminé par l'arc AB. Si l'on mène les rayons réfléchis A*m*, B*m*, pour les rayons incidens MA, MB, d'après la méthode que nous avons décrite, on verra qu'ils se rencontrent au point *m* et y peignent l'extrémité M de l'objet. De la même manière, le cône NAB, venant de N, autre extrémité de l'objet, sera réfléchi au foyer N, et y peindra ce point de l'objet. Par la même raison, les cônes venant des points situés entre M et N, seront réfléchis à des points de l'image situés entre *m* et *n*, et *mn* sera une image exacte et renversée de l'objet MN. Elle sera aussi très-brillante, parce que beaucoup de rayons se joignent pour la former. On trouve la distance de l'image au miroir par la règle que nous avons donnée pour trouver le foyer des rayons divergens, les points M et *m* (fig. 14), correspondant aux points A et F (fig. 8). En mesurant la grandeur relative de l'objet MN et de son image *mn*, on voit que, en tous cas, la grandeur

de l'image est à celle de l'objet, comme la distance de l'objet au miroir est à celle de l'objet à l'image.

Si le miroir concave AB est grand, et que l'objet MN soit très-brillant, comme une statue de plâtre de Paris, bien éclairée, l'image *mn* paraîtra suspendue en l'air, et on peut faire une foule d'expériences instructives en variant la distance de l'objet, et observant les variations de grandeur et de situation de l'image. Si l'objet est placé en *mn*, une image agrandie se formera à MN.

(25.) *Formation des images par des miroirs convexes.* Dans les miroirs concaves, il y a en tous cas devant le miroir une image positive de l'objet, excepté lorsque l'objet est placé entre le miroir et le foyer principal, alors l'image est virtuelle et derrière le miroir, tandis que dans les miroirs convexes, l'image est toujours virtuelle et derrière le miroir.

Soit AB (fig. 15) un miroir convexe dont le centre est C, et soit MN un objet placé devant. Supposons que l'œil de l'observateur soit placé devant le miroir C en E, par exemple. Parmi le grand nombre des rayons lancés dans chaque direction par les points MN de l'objet, et qui sont en conséquence réfléchis par le miroir, quelques-uns seulement reviennent à l'œil en E. Ceux qui entrent dans l'œil comme DE, FE, GE, HE, seront réfléchis par les portions DE, GH du miroir situées de telle manière par rapport à l'œil et aux points M, N, que les angles d'incidence et de réflexion sont égaux. Le rayon

MD sera réfléchi dans la direction DE, formant le même angle que MD avec la perpendiculaire CN, et le rayon NG dans la direction GE; de même, FE, HE seront les rayons réfléchis correspondans aux rayons incidens MF, NH. Si l'on prolonge en sens inverse les rayons DE, FE, ils se rencontreront en *m*, et paraîtront venir de *m* comme foyer, et *mn* sera l'image virtuelle de l'objet MN. On l'appelle virtuelle parce qu'elle n'est pas formée par l'union des rayons en un foyer, et qu'elle ne peut être reçue sur du papier. Si l'œil E est placé en toute autre position devant le miroir, et si de M et de N l'on mène des rayons qui, après avoir été réfléchis, entrent dans l'œil, on verra que ces rayons, prolongés en sens inverse, auront pour foyers virtuels *m* et *n*. Ainsi, quelle que soit la position de l'œil devant le miroir, l'image paraîtra toujours au même endroit *mn*. Si, du centre du miroir, on mène les lignes CM, CN, on trouvera que les points *m* et *n* sont toujours sur ces droites. Il est donc clair que l'image *mn* est toujours *droite*, et moindre que l'objet. Elle approche ou s'éloigne du miroir suivant que MN en approche ou s'en éloigne, et lorsque MN est à une distance infinie, ou que les rayons qui en proviennent sont parallèles, l'image *mn* sera à égale distance entre C et le miroir. Dans les autres situations de l'objet, on trouve la distance de l'image par la règle donnée pour les rayons divergens qui tombent sur des miroirs convexes.

La grandeur de l'image est à celle de l'objet, comme

Cm, distance de l'image au centre du miroir, est à CM, distance de l'objet. En approchant du miroir, l'image et l'objet approchent de l'égalité, et lorsqu'ils le touchent, leur grandeur est la même. C'est pourquoi, dans les miroirs convexes, les objets sont toujours diminués, à moins qu'ils ne touchent le miroir.

(26.) *Formation des images par les miroirs planes.* Soit AB (fig. 16) un miroir plane ou une glace, MN un objet placé devant, et E la place de l'œil. D'après les principes que nous avons expliqués pour le miroir convexe, on trouvera qu'une image de MN se formera à *mn*, les foyers M, N, *m*, *n*, étant déterminés par le prolongement des rayons réfléchis DE, FE jusqu'à leur rencontre en *m*, et de GE, AE jusqu'à leur rencontre en *n*. Si l'on joint les points M, *m* et N, *n*, les lignes M*m*, M*n* seront perpendiculaires au miroir AB, et conséquemment parallèles, et l'image sera à la même distance, et aura la même position derrière le miroir que l'objet avait devant ce miroir. C'est pourquoi les images des objets qu'on voit dans une glace ont la même forme et sont à la même distance que les objets eux-mêmes.

DIOPTRIQUE.

(27.) La dioptrique est la branche d'optique qui traite de la marche des rayons de lumière qui entrent dans des corps transparens et passent au travers de leur substance.

CHAPITRE III.

Réfraction.

Lorsque la lumière passe au travers d'une goutte d'eau ou d'un morceau de verre, elle éprouve quelque changement dans sa direction, puisqu'elle n'éclaire pas un papier placé derrière ces corps de la même manière que lorsque ces objets n'étaient pas interposés; ces corps ont donc exercé quelqu'action ou produit quelque changement sur la lumière pendant qu'elle les traversait.

Pour découvrir la nature de ce changement, soit ABCD (fig. 17) un vaisseau vide ayant un trou H dans un de ses côtés BD, et soit S une chandelle allumée et placée à quelques pieds de là, de sorte qu'un rayon SH de sa lumière, tombe sur le fond CD du vaisseau et forme une tache ronde de lumière en *a*. La masse de lumière SH*Ra* sera en ligne droite. Ayant marqué le point *a* où tombe le rayon divergent de S,

[illegible] de l'eau dans le vaisseau jusqu'à EF. Dès q la surface de l'eau sera calme, on verra que la m pièce qui était en a est en b, et que le rayon SE [illegible] courbé à R; HR et Rb étant deux lignes droites se [illegible] en R, point situé sur la surface de l'e Il s'ensuit que tous les objets qui sont sous l'eau sont pas dans leur vraie direction pour une person dont l'œil n'est pas plongé dans l'eau. Si, par exe ple, un poisson est en b (fig. 17), l'œil placé à S [illegible] dans la direction Sa, direction du rayon [illegible] RS, de sorte que pour le tirer à balle, il fa [illegible] le fusil à un point plus près de nous que [illegible] a. C'est pourquoi chaque point d'un obj plongé dans l'eau paraît être autre part qu'à sa véritab place, et la différence entre les places réelles et a parentes d'un objet quelconque, augmente suiva leur profondeur et l'obliquité du rayon RS qui [illegible]. Un bâton droit dont la moitié est plong dans l'eau, paraîtra courbé, brisé au point où il ent dans l'eau. Par exemple, une baguette droite SR paraît courbée comme SRb, et réciproquement un baguette courbée paraîtra droite. On doit l'avoir sou vent observé lorsque la rame trempe dans une ea transparente.

Si, au lieu d'eau, on prend de l'*alcohol*, d l'*huile* ou du *verre*, comme la surface de ces corp coïncide avec la ligne EF, on verra qu'ils ont tou le pouvoir de courber le rayon SR au point R. L'al cohol le courbe plus que l'eau, l'huile plus que l'al cohol, et le verre plus que l'huile. Le verre courbe

rait le rayon dans la direction R*c*. La force qui courbe ou change ainsi la direction d'un rayon de lumière s'appelle *réfraction*, du mot latin *refringere* qui signifie *rompre*, parce que le rayon SR*a* est rompu à R, et qu'on dit que l'eau réfracte ou rompt le rayon à R. On peut en conclure que si un rayon de lumière traversant l'air tombe dans une direction oblique ou penchée sur la surface d'un corps transparent, solide ou fluide, il sera réfracté vers une ligne MN, perpendiculaire à la surface EF, au point R où tombe le rayon, et que la quantité de cette réfraction, ou la grandeur de l'angle *a*R*b* varie suivant la nature du corps. La force qui fait produire un tel effet à ces corps s'appelle *force réfractive*, et les corps qui la possèdent à différens degrés sont dits avoir différentes forces réfractives.

Videz maintenant le vaisseau, et coulez un objet brillant, comme une pièce de cinq sous au point *a*. Si l'observateur se place à quelques pieds du vaisseau, il trouvera une position où il pourra voir par le trou H la pièce placée en *a*. Si l'on verse de l'eau dans le vaisseau jusqu'à EF, l'observateur ne verra plus la pièce, mais si l'on place une autre pièce en *a*, et qu'on l'approche de *b*, il la verra lorsqu'elle atteindra *b*; or, comme le rayon de la pièce située en *b* atteint l'œil, il doit sortir de l'eau en un point R de sa surface, ce qu'on trouve en tirant une ligne droite SHR, qui passe par l'œil et le point H; et conséquemment *b*R doit être la direction du rayon de qui rend la pièce visible avant sa réfraction en R.

Mais si ce rayon se fût prolongé en ligne droite sans être réfracté à R, il aurait été *bh*, tandis que par la réfraction il devient RH. Il s'ensuit que lorsqu'un rayon de lumière passant dans un milieu dense, comme de l'eau, etc., dans une direction oblique ou penchée vers sa surface, quitte le milieu à un point quelconque, et entre dans un milieu plus rare comme l'air, il est réfracté à partir de la ligne perpendiculaire à la surface au point où elle sort.

Lorsque le rayon SHR de la chandelle tombe ou est incident sur EF, surface de l'eau, et est réfracté dans la direction R*b*, vers la perpendiculaire MN, l'angle MRH qu'il forme avec la perpendiculaire s'appelle *l'angle d'incidence,* et l'angle NR*b* que le rayon R*b*, brisé ou réfracté à R, forme avec la même perpendiculaire, s'appelle *l'angle de réfraction.* Le rayon HR s'appelle *rayon incident*, et R*b*, le *rayon réfracté,* dans ce cas, mais quand le rayon de lumière de la pièce *a* sort de l'eau et qu'il est réfracté à R dans la direction RH, *a*R est le rayon incident, et RH le rayon réfracté : l'angle NR*a* est l'angle d'incidence, et MRH est l'angle de réfraction.

Il s'ensuit que, *lorsque la lumière passe d'un milieu rare dans un milieu dense, comme de l'air dans l'eau, l'angle d'incidence est plus grand que l'angle de réfraction,* et que *lorsque la lumière passe d'un milieu dense dans un milieu rare, comme de l'eau dans l'air, l'angle d'incidence est plus petit que l'angle de réfraction;* et ces angles ont un tel rapport entre eux, que lorsque le rayon qui, dans

le tube est dans la position H'R. Ainsi, lorsque la lumière sort de la surface de l'eau, le sinus de l'angle d'incidence bRN est au sinus de l'angle de réfraction HRM, comme 1 est à 1,336. Comme c'est la mesure des sinus $b'n'$ Hm, et aussi celle de $b'n'$, Hm' sur une autre échelle dont $b'n'$ est l'unité, on peut conclure que lorsque la lumière passe de l'eau dans l'air, les sinus des angles d'incidence et de réfraction sont dans le rapport constant de 1 à 1,336.

Si l'on fait la même expérience sur d'autres corps, on a différens degrés de réfraction aux mêmes angles, mais en tous cas on trouvera que les sinus des angles d'incidence et de réfraction ont un rapport constant.

Le nombre 1,336, qui exprime ce rapport pour l'eau, s'appelle *la mesure de réfraction* de l'eau, et quelquefois son *pouvoir de réfraction.*

(30.) Comme les savans ont déterminé la mesure de réfraction de beaucoup de corps, ils nous ont ainsi mis à même de nous assurer de la direction d'un rayon réfracté à un angle quelconque d'incidence, sur la surface d'un corps donné, soit en y entrant, soit en le quittant. Ainsi, pour l'eau, si l'on demande la direction d'un rayon HR, après sa réfraction à la surface EF de l'eau, tirez RM perpendiculaire à EF, au point R où le rayon HR entre dans l'eau, et de H, menez Hm perpendiculaire à MR. Prenez au compas la distance Hm, et faites une échelle dans laquelle cette distance occupe 1,336, ou 1 partie et 1/3. Alors, prenant 1 sur la même

échelle, placez une pointe du compas sur l'arc d cercle NF, et faites aller cette pointe vers N jusqu'à ce que l'autre pointe tombe sur un point *n* de la perpendiculaire RN, et non sur aucun autre. Soit *b* le point où est placée l'une des pointes du compas, lorsque l'autre est à *n*, la droite R*b* qui passe par ce point sera le rayon réfracté correspondant au rayon incident HR.

(31.) La table I (Appendice) contient la mesure de réfraction de quelques-uns corps les plus intéressans en optique.

(32.) Comme les corps contenus dans ces tables ont tous des densités différentes, les mesures de réfraction à côté de leur nom, ne peuvent être considérées comme montrant la relation de leurs forces réfractives absolues, ou des forces réfractives de leurs molécules. Le peu de force réfractive de l'hydrogène par exemple, est dû à la grande distance de ces molécules entre elles, et si l'on considère sa pesanteur spécifique, on verra qu'au lieu d'avoir une force réfractive moins grande que les autres corps, ses molécules ont au contraire la plus grande puissance réfractive sur la lumière.

Sir Isaac Newton a prouvé, en supposant que les molécules des corps soient également pesantes, que la force réfractive absolue est égale à la différence entre le carré de la mesure de réfraction et l'unité, divisée par la pesanteur spécifique du corps. C'est ainsi qu'on a calculé la table II (Appendice.)

M. Herschel a remarqué avec raison que si, sui-

vant les doctrines de la chimie moderne, les corps matériels consistent en un nombre fini d'atomes différens par leur propre poids suivant la composition du corps, la force réfractive intrinsèque des atomes d'un milieu donné sera le produit de la multiplication des nombres indiqués dans la table II, par leur poids atomique.

(33.) En examinant la table II, il paraît que les substances qui contiennent de l'acide fluorique ont la moindre force réfractive absolue, tandis que les corps inflammables ont la plus grande. La grande force réfractive de l'huile de cassia qui est placée au-dessus de tous les autres fluides, et même au-dessus de celle du *diamant*, indique la grande inflammabilité de ses ingrédiens.

CHAPITRE IV.

Réflexion au travers des Prismes et des Lentilles.

(34.) La loi de réfraction que nous avons expliquée dans les pages précédentes, permet de suivre un rayon de lumière dans son passage, au travers d'un milieu ou corps d'une figure quelconque, ou au travers de plusieurs corps, pourvu qu'on puisse trouver l'inclination du rayon incident sur la partie de la surface où le rayon pénètre ou quitte le corps.

Les corps dont on se sert ordinairement pour les expériences d'optique, et pour construire des instrumens d'optique, où l'effet est produit par la réfrac-

Un *verre plane* B, est un verre qui a deu
faces *ab*, *cd*, planes et parallèles.

Une *lentille sphérique* C est une sphère
les points de sa surface étant également dist
centre O.

Une *lentille double-convexe* D est un solide
par deux surfaces convexes et sphériques,
leurs centres sur les côtés opposés de la lentille.
que les rayons des deux surfaces sont égaux,
dit *également convexe*, et lorsque les rayon
inégaux, on la dit *inégalement convexe*.

Une *lentille plano-convexe* E est une lenti
a une surface *convexe*, et l'autre *plane*.

Une *lentille double-concave* F est un soli
miné par *deux* surfaces sphériques et *conca*
qui peut-être également ou inégalement concav

Une *lentille plano-concave* G est une lentill
une surface est *plane* et l'autre *concave*.

Un *meniscus* H est une lentille dont une

'le concavo-convexe I est une lentille dont
est *concave* et l'autre convexe, et où les
:s ne se rencontrent pas, quelques pro-
:lles soient. Comme la concavité excède
, on peut la regarder comme une lentille

.es ces lentilles, la ligne droite MN qui
centre de leurs surfaces courbes, et qui
iculaire à leur surface plane, s'appelle

es ne représentent que les sections des
mme si elles étaient coupées par un plan
leurs axes; mais le lecteur comprendra
ce convexe d'une lentille est comme le
verre de montre, et sa surface concave
:dans d'un verre de montre.
ıtrer la marche de la lumière au travers
les et pour expliquer leurs propriétés, il
nous servir des sections de la figure pré-
r, puisque chaque section de la même
ant au travers de son axe a exactement
:me, ce qui est vrai pour les rayons qui
; une section, doit l'être aussi pour ceux
dans chaque section, et conséquemment
|ui passent dans la surface entière.
fraction de la lumière par les prismes.
prismes entrent dans plusieurs instrumens
et sont essentiels dans l'appareil qui sert
er la lumière et à examiner les propriétés
qui la composent, il est nécessaire que

tirez MRN perpendiculaire à AB, et Hm p
culaire à MR. L'angle HRM sera l'angle d'i
du rayon HR, et Hm son sinus, qui, dan
est 1,500. Ayant alors fait une échelle dans
la distance Hm est 1,500 ou 1 partie, 1/2
une partie sur cette échelle, et ayant mis u
du compas sur le cercle à un point quelc
faites le mouvoir vers différens points d
jusqu'à ce que l'autre pointe tombe sous
point n de la ligne RN, le point b ainsi tr
celui où passe le rayon réfracté; Rb sera
réfracté, et nRb l'angle de réfraction, p
sinus bn de cet angle a été construit de
être à Hm, sinus de l'angle d'incidence co
à 1,500. Le rayon Rb ainsi réfracté ira en li
jusqu'à ce qu'il rencontre la seconde s
prisme à R', où il est réfracté dans la dire
Pour déterminer cette direction, prenez
à RH, et avec cette distance pour rayon
le cercle $H'b'$. Tirez R'N perpendiculaire

us la mesure de réfraction 1,500 ou 1 partie, it ayant mis une pointe du compas quelque part ligne R'n', faites-le mouvoir vers différens , jusqu'à ce que l'autre pointe tombe sur un quelconque du cercle b, ayant soin que ce point l que si l'une des pointes du compas est pla-ssus, l'autre ne touche la ligne Rn' prolongée un point. Joignez R'b'. Puisque H'R'm' est e d'incidence sur la seconde surface AC, et son sinus, et que $n'b'$, sinus de l'angle b'R'n' est onstruction à H'm' comme 1,500 est à 1, b'R'n' ngle de réfraction, et R'b' le rayon réfracté. l'on suppose que le rayon primitif HR vienne chandelle, et qu'on place l'œil en b' derrière le e, de manière à recevoir le rayon réfracté b'R', aîtra venir dans la direction b'R'D, et la chan-paraîtra dans cette direction. L'angle HED re-nte ce changement angulaire de direction, on mme *angle de déviation.*

. construisant la figure 20, on a fait tomber le n HR sur le prisme à un tel angle que le rayon cté RR' est également incliné par rapport aux AB, AC, ou parallèle à la base BC du ne, d'où il suit que l'angle d'incidence HRB est à l'angle d'émergence b'R'C. Cela étant, en fai-l'angle HRB plus grand ou plus petit que dans la e, on verra que l'angle de déviation HED est ndre que tout autre angle d'incidence. Si, par équent, on place l'œil au point b' derrière le me, et qu'on tourne le prisme dans le plan

peut voir la similitude des triangles ou prouver p la projection que l'angle de réfraction bRn de la pr mière surface est égal à BAF, moitié de l'angle r fractif du prisme. Mais puisqu'on connaît BAF, c connaît aussi l'angle de réfraction bRn; s'étant don l'angle d'incidence HRB par la méthode précéden on peut déterminer la mesure de réfraction d' prisme quelconque par l'analogie suivante. I sinus de l'angle de réfraction est au sinus de l'ang d'incidence, comme l'unité est à la mesure de réfra tion: donc la mesure de réfraction est égale au sin de l'angle d'incidence, divisé par le sinus de l'ang de réfraction.

(36.) On peut mesurer promptement la force réfr tive de chaque corps par cette méthode qui est d'u facile exécution. Si le corps est solide, il faut le tail en prisme, et s'il est mou ou liquide, il faut le pla dans l'angle BAC d'un prisme creux ABC (fig. 2 fait en alliant ensemble trois morceaux de ve blanc AB, AC, BC. On peut faire un très-bon pris

,a peut alors placer une goutte du liquide
A, où il sera maintenu par la force de l'at-
capillaire.

que la lumière tombe sur la seconde surface
prisme, elle peut tomber assez obliquement
que cette surface ne puisse la réfracter, et par
équent la lumière incidente *est totalement réflé-*
par la seconde surface. Cette propriété de la
ère est assez curieuse pour être expliquée dans
ses détails.

DE LA RÉFLEXION TOTALE DE LA LUMIÈRE.

17.) Nous avons déjà dit que, lorsque la lumière
e sur la première ou sur la seconde surface d'un
s transparent, une certaine partie de la lumière
éfléchie, tandis qu'une autre, et c'est la plus
de, est simplement transmise; la lumière est
alors *réfléchie en partie*. Cependant, lorsque la
ère tombe très-obliquement sur la *seconde surface*
corps transparent, elle est entièrement réfléchie,
ucun rayon n'est réfracté ou ne traverse la sur-
Soit ABC un prisme de verre, dont la mesure de
ction est 1,500 ou 1, 1/2 qu'un rayon de lumière
(fig. 22) soit réfracté à K, par la première surface
de manière à tomber très-obliquement sur le
t R de la seconde surface, dans une direction HR.
point R comme centre, et avec un rayon quel-
que HR, décrivez le cercle HEMNF, puis, pour
ver le rayon réfracté correspondant à HR, faites

[illegible] échelle dont HR est l'unité. [illegible] compas [illegible] sur cette échelle, et [illegible] la pointe du compas sur l'arc EV, tâchez [illegible] l'autre pointe [illegible] sur un point du rayon RV. On verra bientôt [illegible] et que 1,500 est plus grand [illegible] que ER, dans l'un angle ERV [illegible] si la distance du compas 1,500, eût été moindre que ER, le rayon aurait été réfracté à R; mais comme il n'y a aucun angle de réfraction dont le sinus soit 1,500, le rayon ne ressort pas du prisme, et il est totalement réfléchi à R dans la direction RS, de sorte que l'angle de réflexion MRS est égal à l'angle d'incidence MRH. Si l'on construit la figure [illegible] de manière à faire prendre au rayon incident HR différentes positions entre MR et FR, on verra le rayon réfracté prendre différentes positions entre RV et RE. Le rayon incident peut être situé vers HR, et alors le rayon réfracté coïncide entièrement avec RE, et cela arrive lorsque la quantité 1,500, prise sur l'échelle dont HR est l'unité, est égale au rayon RE. Lorsque le rayon incident est dans une position quelconque entre cette ligne et FR, la réfraction est impossible, et le rayon incident à R est totalement réfléchi. On trouve aussi que le sinus de l'angle d'incidence en R, où la lumière recommence à être totalement réfléchie, est égal à 1/1,500, ou 0,636, ou 1/3 qui est le sinus de 41° 48' pour le verre à miroir.

On peut fort bien voir le passage de la réflexion

ion totale, en exposant un côté AC (fig. 20) à la lumière du ciel, ou ère réfléchie par une grande feuille orsque l'œil est placé derrière l'autre sme, et regarde l'image du ciel mme réfléchi par la base BC du la faible lumière produite par la ré- e la lumière, si l'angle d'incidence re que 40° 48'; mais en tournant rendre l'incidence de plus en plus la lumière faible se changer sou- e lumière brillante, et séparée de la : une frange colorée, qui marque la ux réflexions à l'angle de 41° 48'. angles d'incidence plus grand que e est totalement réfléchie.

A LUMIÈRE PAR LES VERRES PLANES.

(fig. 23), une section d'un verre llèles, et soit AB un rayon de lumière t B sur la première surface, et re- rection BC; il sera encore refracté conde surface au point C, dans une allèle à AB; et pour l'œil placé à ir dans une direction *a*C, qu'on geant CD en sens inverse. Ainsi il oint *a*, situé au-dessous de A, d'où it. On peut le prouver en projetant s la méthode que nous avons don-

née. D'ailleurs on le prouvera facilement en considérant que si l'on suppose que le rayon réfracté devienne le rayon incident et marche en sens inverse, ce rayon incident devient le rayon réfracté. Ainsi le rayon réfracté BC, tombant à angles égaux sur les deux surfaces du verre plane, est également réfracté à B et à C, si on suppose qu'il se meuve en directions opposées : et par conséquent, les angles que les rayons BA, CD forment avec les deux surfaces réfractives sont égaux, et les rayons sont parallèles.

Si l'on suppose qu'un autre rayon A'B' parallèle à AB tombe sur le point B', il souffrira la même réfraction à B' et C', et ressortira dans la direction C'D', parallèle à CD, comme s'il venait en ligne droite, d'un point a'. Ainsi, *des rayons parallèles tombant sur un verre plane, sont encore parallèles après l'avoir traversé.*

(39.) Si des rayons AB, AB' divergens d'un point A (fig. 24), tombent sur un verre plane MN, ils sont réfractés dans les directions BC, B'C', par la première surface, et dans les directions CD, C'D', par la seconde. En prolongeant CB, C'B' en sens inverse, ils se rencontrent en *a*, point plus éloigné du miroir que A. Ainsi, si l'on suppose que la surface BB', soit celle d'une eau tranquille placée horizontalement, l'œil plongé dedans verrait le point A placé en *a*, la divergence des rayons BC, B'C étant diminuée par la réfraction à la surface BB'. Mais lorsque les rayons BC, B'C' sont réfractés de nouveau, comme dans un verre plane, on verra en

ulangeant en sens inverse DC, D'C', qu'ils se renatreront en *b*, et l'objet placé en A semble s'appro-er du verre; les deux réfractions ayant augmenté divergence des rayons CD, C'D', qui le font voir. nsi, un verre plane diminue la distance du point divergence des rayons divergens.

Si l'on suppose que DC et D'C' soient des rayons nvergens à *b*, on les fera converger à A par la fraction des deux surfaces, et par conséquent, un rre plane éloigne le point convergent des rayons nvergens.

Si les deux surfaces BB', CC' sont également urbes, l'une étant concave et l'autre convexe, elles iront sur la lumière presque comme un verre ne, si les côtés convexe et concave ont un tel pport entre eux que les rayons BA, CD, forment chaque surface, des angles incidens égaux, mais a n'arrive point lorsque les deux surfaces ont le me centre, à moins que ce centre ne soit le point yonnant A. C'est pour cette raison qu'on se sert verres à surfaces parallèles pour les fenêtres et verres de montre, parce que ces verres changent s-peu la forme et la position des objets qu'on voit travers.

FRACTION DE LA LUMIÈRE PAR LES SURFACES COURBES.

(40.) Lorsque l'on considère la petitesse inconcevable d'une molécule de lumière, et qu'un seul rayon compose d'un nombre infini de ces molécules, il est

terre que le petit espace de la surface d
occupé par un rayon de lumière pro
ment au rayon de cette lentille. Or, le
ciens ont démontré qu'une droite t
courbe à un point quelconque, peut ê
comme coïncidant avec une partie extrê
tite de cette courbe; ainsi, si un rayon
AB (fig. 25) tombe à B sur une surfac
réfractaire, son angle d'incidence doit
déré comme ABD, angle que le rayon
avec une droite DC, perpendiculaire à
qui touche la surface ou est tangente à l
point B. Dans toutes les surfaces sphériq
dans les lentilles, la tangente MN est perp
au rayon CB de la surface. Ainsi, dans
sphériques, il est inutile de s'occuper de
MN, parce que le rayon d'incidence CB
le point d'incidence B, est la perpendicu
tir de laquelle il faut compter l'angle d'i

RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE PAR LES SPHÈRES.

(41.) Soit MN une section d'une sphère de verre, dont le centre est C, et dont la mesure de réfraction est 1,500, et soient HR, H'R', des rayons parallèles tombant dessus à distances égales de l'axe GCF. Si le rayon HR est incident à R, décrivez le cercle HD*b* de R comme centre. Par les points C et D, menez la ligne CRD, qui est perpendiculaire à la surface, à R, et menez H*m* perpendiculaire à RD. Menez le rayon R*br* par un point *b* trouvé par la méthode déjà donnée, et de sorte que le sinus *bn* de l'angle de réfraction *b*RC soit l'unité de l'échelle où H*m* est 1,500 ou 1, 1/2; R*q* sera le rayon comme étant réfracté par la première surface de la sphère. Tirez de même R'*r*' pour rayon réfracté correspondant à H'R'.

Si l'on prolonge les rayons R*r*, R'*r*', ils rencontreront l'axe en E, point qui est le foyer des rayons parallèles pour une seule surface convexe RPR', et l'on trouvera la distance focale PE par la règle suivante :

RÈGLE *pour trouver le foyer principal d'une seule surface.*

Divisez la mesure de réfraction par la quantité dont elle surpasse l'unité, et le quotient sera la principale distance focale PE, le rayon de la surface, ou CR étant 1. Si l'on donne CR en pouces

point *b* tel que *b'n'*, sinus de l'angle d
b'rn', soit 1,500 ou 1, 1/2 sur l'échelle
est *hm'*, sinus de l'angle d'incidence, et
rayon réfracté à la seconde surface. On
même manière que *r'*F est le rayon réfr
pondant au rayon incident R'*r'*, F étant
rb' touche l'axe GE. Ainsi, le point F
des rayons parallèles pour la sphère de

Si *des rayons divergens tombent* sur
R, R', il est clair, en regardant la figur
foyer est sur le point de l'axe GF, plus él
de la sphère, la distance du foyer au
mesure que le point rayonnant dont ils
approche de la sphère. Lorsque le point
est à la même distance devant la sphère
rière, les rayons seront réfractés dans de
parallèles, et alors le foyer est à une dista
Ainsi, si l'on suppose que les rayons Er

son foyer principal F, et leur convergence peut être assez grande pour que leur foyer tombe dans la sphère. On s'expliquerait ces vérités, et on les comprendrait mieux en traçant des rayons de différens degrés de convergence et de divergence dans la sphère, par la méthode dont nous avons donné les détails précédemment.

(42.) Pour se faire une idée de l'effet d'une sphère composée de substances de différentes forces réfractives pour amener des rayons parallèles en un foyer, supposons que la sphère ait 1 pouce ou 25 millimètres, et trouvez le foyer comme dans la figure 26, lorsque les substances sont :

Substances.	Mesure de réfraction.	Distance FQ du foyer à la sphère.	
		anglais.	
Tabasheer (1) . .	1,11145	4 p.-pouce	1219 millim.
Eau.	1,3358	1	305
Verre.	1,500	0 — 0 1/2	12
Zircone.	2,000	0	0

On voit par là, que pour le tabasheer, la distance FQ est 1219 millimètres, pour l'eau 405 millimètres, pour le verre 12 millimètres, et pour la zircone, 0 millimètre, c'est-à-dire que r et F coïncident avec Q, après une seule réfraction à R.

Lorsque la mesure de réfraction est plus grande que 2, comme dans le diamant et plusieurs autres substances, le rayon de lumière Rr rencontre l'axe

---

(1) Silice trouvée dans la tige creuse du bambou.

onférence de la sphère sans
que le rayon soit totalement absorbé. Or, com
cela est vrai pour chaque section de la sphère, chaque rayon R*r* qui tombe dessus dans un cercle équidistant de l'axe GF, est réfléchi de cette manière.

Règle *pour trouver le foyer* F *d'une sphère.*

On peut trouver ainsi la distance du foyer F au centre C d'une sphère quelconque. Divisez la mesure de réfraction par le double de la quantité dont elle surpasse l'unité, et le quotient est la distance CF en rayons de la sphère; si le rayon de la sphère est 1 centimètre, et sa force réfractive 1,500, CF sera égal à 1 centimètre 1/2, et QF à 5 millimètres ou 1/2 centimètre.

RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE PAR DES SURFACES CONCAVES ET CONVEXES.

...it dans la figure 26 la manière de sui

rayon entre dans la surface concave
nse, ou quitte une surface semblable,
la surface convexe d'un milieu rare,
ur suivre sa marche est indiquée dans
i MN est un milieu dense (comme du
eux surfaces concaves, ou une épaisse
e. Soit C, C' les centres des deux sur-
r l'axe CC', et HR, H'R', des rayons
lens à la première surface. Comme CR
ılaire à la surface à R, HRC sera
ence, et si l'on décrit un cercle avec
, *hm* sera le sinus de cet angle. Sur
a est 1,500, prenez 1 avec le compas,
le cercle quelque point *b*, où, lors-
e du compas est placée, l'autre ne
r un seul point *n* de la perpen-
la ligne R*b* menée par ce point sera
icté. En prolongeant en sens inverse
il rencontre l'axe en F. On voit de
ayon H'R' est réfracté dans la direction
'il venait de F. Ainsi, F est le foyer
ons parallèles réfractés par une seule
e, et on peut le trouver par la règle

rouver le foyer principal d'une seule surface concave.

mesure de réfraction par la quantité
asse l'unité, et le quotient est la prin-
e focale FE, le rayon de la surface ou

CE étant 1. Si on donne le rayon CF en centimètres il n'y a qu'à multiplier CF, ainsi obtenu par ce nombre de centimetres, pour avoir la valeur de FE en centimetres. Si, par une méthode semblable, on trouve le rayon réfracté *rb* à son émergence de la seconde surface *rr'* de la lentille, et qu'on le prolonge en sens inverse, il rencontrera l'axe en un point tres-près de C, de sorte que les rayons divergens R*r*, R'*r'* sont rendus encore plus divergens par la seconde surface, et C est le foyer de la lentille MN

RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE PAR LES LENTILLES CONVEXES.

(44.) *Rayons parallèles.* Les rayons de lumière qui tombent sur une lentille convexe parallèlement à son axe, sont réfractés absolument de la même manière que ceux qui tombent sur une sphère, et l'on trouve le rayon réfracté de la même manière. Mais une sphère ayant un axe dans chaque direction, chaque rayon incident est parallèle à l'un de ses axes, tandis que dans une lentille qui n'a qu'un axe, plusieurs rayons incidens sont naturellement obliques à cet axe. Dans chaque cas, soit pour une lentille soit pour une sphère, tous les rayons qui passent le long de l'axe ne sont point du tout réfractés, parce que l'axe est toujours perpendiculaire à la surface réfractive.

Lorsque des rayons parallèles RL, RC, RL tombent sur une lentille double-convexe LL, parallèlement à son axe RF, le rayon RC qui coïncide avec

tre, traverse la lentille sans éprouver la moindre réfraction, mais les autres rayons RL, RL, seront réfractés à chaque surface de la lentille, et l'on trouvera, par la méthode donnée, que les rayons réfractés qui y correspondent (LF, LF) se rencontrent en un point F, situé sur l'axe.

Lorsque les rayons tombent obliquement à l'axe, comme SL, SL, TL, TL, les rayons SC, TC, qui passent par le centre G de la lentille, sont réfractés à chaque surface; mais, comme les deux réfractions sont égales et dans des directions opposées, les derniers rayons réfractés Cf, Cf', seront parallèles à SC et TC. Ainsi, en considérant les rayons obliques SL, TL, on peut regarder la ligne Sf, passant par le centre de la lentille, comme étant la direction du rayon réfracté correspondant à SC. Par les méthodes données, on verra que SL, SL sont réfractés à un même point f situé dans la direction du rayon central Sf, et TL, TL au point f'. On peut trouver en chiffres la distance focale FC ou fC, par la règle suivante, lorsque l'épaisseur de la lentille est assez petite pour être négligée.

Règle *pour trouver le foyer principal, ou le foyer des rayons parallèles, pour un verre inégalement convexe.*

Multipliez les rayons des deux surfaces l'un par l'autre, et divisez le double de ce produit par la somme de ces rayons.

Si la lentille est également convexe, la distance focale sera égale au rayon.

Règle pour trouver le foyer principal d'une lentille plano-convexe en verre.

Lorsque le côté convexe est exposé à des rayons parallèles, la distance focale est égale au double du rayon de la surface convexe, diminué des deux tiers de l'épaisseur de cette lentille.

Lorsque le côté plane est exposé aux rayons parallèles, la distance focale est égale au double du rayon.

(45.) *Rayons divergens.* Lorsque des rayons divergens RL, RL (fig. 29), venant du point R, tombent sur la lentille double-convexe, dont le foyer principal est à O et O', leur foyer est à un point F plus éloigné que O. Si R approche de LL, le foyer F s'en éloignera. Lorsque R arrive à P, point tel que PC est égal au double de la principale distance focale CO, le foyer F sera situé à un point P', aussi loin derrière la lentille que le point rayonnant P devant. Lorsque R arrive à O', le foyer F est à une distance infinie, ou bien les rayons LF, LF sont parallèles, et lorsque R est entre O' et C, les rayons réfractés divergeront, et auront un foyer virtuel devant la lentille. On trouvera le foyer F, pour le verre, par la règle suivante.

Règle *pour trouver le foyer d'une lentille convexe pour les rayons divergens.*

Multipliez le double du produit des rayons des deux surfaces de la lentille par la distance RC du point rayonnant, pour former le dividende ; multipliez la somme des deux rayons par la même distance RC, et de ce produit, retranchez le double du produit des rayons pour former un diviseur. Divisez le dividende par le diviseur, et le quotient est CF, distance focale demandée.

Si la lentille *est également convexe*, suivez la règle suivante. Multipliez RC, distance du point rayonnant, par le rayon des surfaces, divisez ce produit par la différence de cette distance et du rayon, et le quotient est CF, qui est la distance focale demandée.

Si la lentille est *plano-convexe*, divisez le double du produit de la distance du point rayonnant multiplié par le rayon, par la différence de cette distance et du double du rayon, et le quotient est la distance focale demandée.

(46.) *Rayons convergens.* Lorsque des rayons RL, RL, convergens à un point *f* (fig. 30), tombent sur une lentille convexe LL, ils seront réfractés de manière à converger à un point ou foyer F, plus près de la lentille que son foyer principal O. A mesure que le point de convergence *f* s'éloigne de la lentille, le point F s'en éloignera en se dirigeant vers O, qu'il atteint lorsque le point *f* est à une distance infinie, et lorsque

[illegible] de la lentille. [illegible] On [illegible]

Règle [illegible] pour les rayons [illegible]

Multipliez le double du produit des rayons des deux surfaces de la lentille, par la distance fC du point de convergence [illegible]. Multipliez la somme des deux rayons par la même distance fC, et ajoutez à ce produit le double de celui des rayons pour avoir un diviseur. Divisez le dividende par le diviseur, et le quotient est CF, distance focale demandée.

Si la lentille est *également convexe*, multipliez la distance fC, par le rayon de la surface, divisez ce produit par la somme de cette même distance et du rayon, et le quotient est CF, distance focale demandée.

Si la lentille est *plano-convexe*, divisez le double du produit de la distance fC, multiplié par le rayon, par la somme de cette distance et du double du rayon, et le quotient est FC, distance focale demandée.

RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE PAR LES LENTILLES DOUBLEMENT CONCAVES.

(47) Soit LL une lentille doublement concave, et RL, RL des rayons parallèles incidens dessus; ces rayons, après la réfraction, divergeront en Lr, Lr, comme s'ils divergeaient d'un point F, qui est le foyer virtuel de la lentille. La règle pour trouver FC est la même que pour les lentilles convexes.

(48.) *Rayons divergens*. Lorsque la lentille LL reçoit les rayons RL, RL, divergens de R, ils sont réfractés dans les directions L*r*, L*r*, divergens d'un foyer F, plus éloigné de la lentille que le foyer principal O, et l'on trouvera la distance focale FC, en suivant la règle que nous allons donner.

Règle *pour trouver le foyer d'une lentille concave pour les rayons divergens.*

Multipliez le double du produit des rayons par la distance RC du point rayonnant. Divisez ce produit par la somme des rayons multiplié par la distance RC, plus le double produit des rayons, et le quotient est la distance focale.

Si la lentille est également concave, suivez cette règle. Multipliez la distance du point rayonnant par le rayon, divisez le produit par la somme de cette distance et du rayon, et le quotient est la distance focale.

Si la lentille est plano-concave, multipliez le double du rayon par la distance du point rayonnant, et divisez ce produit par la somme de cette distance et du double du rayon. Le quotient sera la distance focale,

(49.) *Rayons convergens*. Lorsque des rayons RL, RL (fig. 33) convergens à un point *f* tombent sur une lentille concave LL, ils seront réfractés de manière à avoir un foyer virtuel à F, et l'on trouvera la distance FC par la règle donnée pour les lentilles convexes. La règle pour trouver le foyer des rayons

plano-convexe.

RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE PAR LES LEN
MÉNISQUES ET CONCAVO-CONVEXES.

(50.) La réfraction d'un *meniscus*, en génér
duit sur les rayons parallèles, divergens et
gens, le même effet qu'une lentille *convexe* de l
longueur focale, et l'effet général d'une
concavo-convexe est le même que celui d'une
concave de la même longueur focale.

RÈGLE *pour un meniscus avec des rayons p*

Divisez le double du produit des rayons
différence, et le quotient sera la distan
demandée.

RÈGLE *pour un meniscus avec des rayons d*

viseur, et le quotient sera la distance focale demandée.

Cette règle peut s'appliquer aux rayons convergens.

Ces deux règles peuvent s'appliquer aux lentilles *concavo-convexes*, mais le foyer est virtuel et en face le miroir.

On peut démontrer géométriquement la vérité des règles et des observations précédentes; mais le lecteur qui n'a pas étudié les mathématiques, peut s'en assurer à la simple vue, en projetant les rayons et les lentilles en un dessin de grande dimension, et en déterminant la direction des rayons réfractés par les méthodes données. Nous lui recommandons aussi de soumettre ces règles et ces observations à diverses expériences faites avec les lentilles elles-mêmes.

CHAPITRE V.

De la formation des images par les lentilles, et de la propriété qu'ont ces dernières de grossir les objets.

(51.) Nous avons décrit dans le chapitre II le principe de la formation des images par de petites ouvertures et par la convergence des rayons à des foyers en les faisant réfléchir par des miroirs. Les lentilles forment les images de la même manière que les mi-

foyer, et c'est une règle universelle que lorsqu'une image est formée par une lentille convexe, elle est renversée à l'objet, dans une position inverse, et sa grandeur est à celle de l'objet comme la distance de la lentille est à celle de l'objet à la lentille.

Si MN est un objet placé devant une lentille convexe LL (fig. [illegible]), chacun de ses points émettra des rayons dans toutes les directions. Ceux qui tombent sur la lentille LL seront réfractés à des foyers situés derrière la lentille à une distance qu'on peut déterminer par la règle du chapitre précédent. Puisque le foyer qui est représenté chaque point de l'objet est situé sur la ligne droite menée de ce point au centre C de la lentille, le point supérieur M de l'objet sera représenté quelque part sur la ligne MCm, et le point inférieur N, quelque part sur la ligne NCn, c'est-à-dire aux points m, n, où les rayons Lm, Lm, Ln, Ln coupent les lignes MCm, NCn; ainsi m représente le point supérieur de l'objet MN, et n son point inférieur. Il est clair aussi que dans les deux triangles MCN, mCn, mn, longueur de l'image, doit être à MN, longueur de l'objet, comme Cm, distance de l'image à la lentille, est à CM, distance de l'objet à la lentille.

C'est pourquoi une lentille nous met à même de former l'image d'un objet à une distance voulue, derrière la lentille, plus grande que son foyer principal, et de faire cette image d'une grandeur et d'une proportion voulues. Pour faire l'image grande, il faut approcher l'objet de la lentille, et pour l'a-

voir petite, il faut l'en éloigner. On peut varier beaucoup ces effets en se servant de lentilles de différentes distances ou longueurs focales.

Lorsque les lentilles ont le même foyer, on peut augmenter la clarté de l'image en augmentant la grandeur de la lentille ou de son aire. Si une lentille a une aire de 12 pouces carrés (7740 millimètres carrés), il est clair qu'elle intercepte deux fois autant des rayons venant de chaque point de l'objet, que si son aire n'était que de 6 pouces carrés (3870 millimètres carrés), de sorte que lorsqu'on ne peut augmenter la clarté de l'objet en l'éclairant, on peut toujours augmenter la clarté de l'image en se servant d'une lentille plus grande.

(52.) Nous avons jusqu'ici supposé que l'image *mn* est reçue sur du papier blanc, du stuc ou toute autre substance blanche et lisse, sur laquelle se forme une image distincte; mais, si on la reçoit sur du papier végétal ou transparent, ou un morceau de verre dont un des côtés est couvert d'une légère peau de lait écrémé, et qu'on place l'œil à 6 ou 8 pouces (153 ou 204 millimètres) et même davantage, derrière ce miroir demi-transparent placé devant *mn*, on verra l'image renversée *mn* aussi distinctement qu'avant. Si on laisse l'œil dans la même position, et qu'on enlève ce corps demi-transparent, on verra distinctement dans l'air une image plus brillante qu'avant. On en trouvera facilement la cause en considérant que tous les rayons qui, par leur convergence forment les points *m*, *n* de l'objet *mn*, se

coupent à m et n, et divergent de ces points de la même manière qu'ils divergeraient d'un objet réel aussi grand et aussi brillant que mn. Ainsi on peut regarder l'image mn d'un objet quelconque comme un nouvel objet; et en plaçant une autre lentille derrière, on formerait une autre image de l'image mn, aussi grande et au même endroit que si mn eût été un objet réel. Mais puisque cette nouvelle image de mn est renversée, elle forme une image de MN située dans le même sens que cet objet, et obtenue par deux lentilles, de sorte qu'en prenant plus ou moins de lentilles, on peut obtenir à volonté des images droites ou renversées d'un objet. Si l'on peut atteindre et faire mouvoir l'objet MN, on n'a pas besoin de deux lentilles pour en avoir une image droite, il ne faut que le renverser, et l'on aura avec une seule lentille une image droite en réalité, mais renversée par rapport à l'objet.

(53.) Pour expliquer le pouvoir qu'ont les lentilles de grossir et de rapprocher les objets ou plutôt de donner des images grossies et rapprochées des objets, il faut examiner ces différentes grandeurs du même objet placé à différentes distances de l'œil. Si l'œil placé en E regarde un homme ab (fig. 35) placé à quelque distance, il ne distingue que sa forme générale et ne reconnaît ni son âge ni ses traits, ni ses vêtemens. A mesure qu'il approche, on reconnaît les différentes parties de ses vêtemens jusqu'à ce que, lorsqu'il est à quelques pieds de nous, on reconnaisse ses traits, et lorsqu'il est encore

plus près, on peut distinguer ses sourcils mêmes et jusqu'aux plus petites lignes sur sa peau. A la distance E*b* on voit l'homme sous l'angle *b*E*a*, et à la distance EB, on le voit sous un angle plus grand BEA ou *b*EA', et ses grandeurs *apparentes ab*, A'*b*, sont mesurées dans ces positions par les angles *b*E*a* et BEA ou *b*EA'. La grandeur apparente du plus petit objet peut donc être égale à celle du plus grand. Par exemple on peut approcher de l'œil une tête d'épingle assez pour qu'elle puisse paraître toute une montagne, et même toute la surface visible de la terre, et l'on dit dans ce cas que la grandeur apparente de la tête d'épingle est égale à la grandeur apparente de la montagne, etc.

Supposons maintenant que l'homme *ab* soit à 100 pieds (30,479 millimètres) de l'œil placé à E, et qu'on place un verre convexe de 25 pieds (8601 millimètres) de distance focale à égale distance de l'œil et de l'objet *ab*, c'est-à-dire à 50 pieds (17,202 millimètres) de chaque, on verra, ainsi que nous l'avons expliqué; une image renversée de l'homme à 50 pieds (17,202 millimètres) derrière la lentille, et de la même grandeur que l'objet, c'est-à-dire de 6 pieds (1,929 millimètres). Si l'on regarde l'objet en plaçant l'œil à 6 ou 8 pouces (153 ou 203 millimètres) derrière, il paraîtra très-distinct, et presque autant que si l'homme était venu de 100 pieds (30,479 millimètres) à 6 pouces (153 millimètres), distance à laquelle on peut voir le détail de chacun de ses traits. Or, dans ce cas, l'homme, quoiqu'il ne soit pas

réellement agrandi. C'est en apparence, puisque sa grandeur apparente a beaucoup augmenté, presque dans le rapport de 6 pouces (153 millimètres), à 100 pieds (30,479 millimètres), ou de 200 à 1.

Mais, si au lieu d'une lentille de 25 pieds (8,601 millimètres) de longueur focale, on prend une lentille d'un foyer plus court, et qu'on la place dans une telle position entre l'œil et l'homme que ses foyers conjugués soient à 20 et 80 pieds (6,088 et 32,328 millimetres) de la lentille, c'est-à-dire que l'homme soit à 20 pieds (6,088 millimètres) devant la lentille, et l'image à 80 pieds (32,328 millimètres) derrière, l'image est 4 fois aussi grande que l'objet, et l'œil placé à 6 pouces (153 millimètres) derrière, le voit très-distinctement. Or, dans ce cas, l'image est grossie 4 fois directement par la lentille, et 200 fois en ce qu'elle est 200 fois plus près de l'œil; donc sa grandeur apparente est 800 fois plus grande qu'avant.

Si d'autre part on prend une lentille d'une longueur focale plus petite encore, et qu'on la place entre l'œil et l'homme, de telle sorte que ses foyers conjugués soient à la distance de 75 et 25 pieds (22,803 et 3,601 millimètres) de la lentille, c'est-à-dire que l'homme soit à 75 pieds (22,803 millimètres) devant la lentille, et l'image à 25 pieds (8,601 millimètres) derrière, la grandeur de l'image n'est que le tiers de celle de l'objet; mais quoique l'image soit diminuée trois fois, sa grosseur apparente est augmentée 200 fois en ce qu'elle est rap-

(153 millimètres) de l'œil, de
randie ou que sa grandeur appa-
ie 200/3 ou presque 67 fois.
moindres que les précédentes, où
de la lentille forme une partie
distance entière, voici la règle
ouvoir grossissant d'une lentille,
à la distance de 6 pouces (153

le l'objet et de l'image donnés en
achez la distance focale de la len-
·es, et divisez ce reste par la
ale. Divisez le double de la dis-
centimètres par ce quotient, et
it est le pouvoir grossissant de la
ibre de fois que la grandeur appa-
t augmentée.
;ueur focale de la lentille est in-
r rapport à la distance de l'objet,
part des cas, la règle est celle-ci.
ır focale de la lentille par la dis-
'œil regarde l'image, ou comme
ıairement à la distance de 6 pou-
·es); pour la mieux voir, divisez
par 6 pouces (153 millimètres),
au même, doublez en centimètres
, et le résultat est le pouvoir gros-
le.
ons d'obtenir le principe du plus
ui se compose d'une lentille dont la

distance focale exacte six pouces (153 millimètres), placée au bout d'un tube dont la longueur doit surpasser de 6 pouces (153 millimètres) la longueur focale de la lentille. Lorsque l'œil est placé à l'autre bout du tube, il voit une image renversée des objets éloignés, grossis suivant la longueur focale de la lentille. Si la longueur focale de la lentille est de 10 ou 12 pieds (3,048 ou 3,643 millimètres), elle grossira les objets vingt ou vingt-quatre fois, et l'on verra distinctement les satellites de Jupiter au travers de ce télescope à une seule lentille. Pour une personne d'une vue faible, qui voit distinctement les objets à la distance de 3 pouces (77 millimètres), le pouvoir grossissant est de 40 à 48.

Un simple miroir concave est, d'après ce principe, un *télescope réflecteur*, car il importe peu que l'image soit formée par la réfraction ou la réflexion. Dans ce cas, cependant, on ne peut regarder l'objet *mn* (fig. 14) sans être sur le chemin de cet objet; mais si la réflexion se fait un peu obliquement, ou si le miroir est assez grand pour ne pas intercepter toute la lumière de l'objet, on peut s'en servir comme d'un télescope. C'est, avec son grand miroir, de 4 pieds (1,317 millimètres) de diamètre, et de 40 pieds (13,179 millimètres) de longueur focale, que le docteur Herschell découvrit un des satellites de Saturne.

Mais il y a encore une autre manière d'augmenter la grandeur apparente des objets, surtout de ceux qui sont à notre portée, ce qui est très-importan

Nous prouverons, lorsque nous parle-
rision, qu'un bon œil voit distictement la
rale d'un objet placé à une grande dis-
que, par une propriété particulière de
pouvons lui permettre de voir les objets
s distances. Ainsi, pour bien voir un
ut faire entrer dans l'œil, en lignes pa-
s rayons qui en proviennent, comme si
nême était très-éloigné.

ant, si l'on approche très-près de l'œil
n son image, de manière à lui donner
e grandeur apparente, on ne peut le voir
nt ; et si, par un moyen quelconque, on
parallèlement dans l'œil les rayons qui
nent, on le verra distinctement. Mais l'on
voir que lorsque des rayons divergent du
: lentille, ils en sortent parrallèles. Si
uent, on place un objet ou son image
er d'une lentille placée près de l'œil, et
petite distance focale, les rayons entre-
èlement dans l'œil, et verront l'objet très-
ent, puisqu'il est grossi dans la proportion
rte distance de l'œil jusqu'à la distance
ces (153 millimètre), à laquelle on voit
le plus distinctement. Mais cette courte
: égale à la longueur focale de la lentille,
te que le pouvoir grossissant produit par
st égal à 6 pouces (153 millimètres) di-
: longueur focale de la lentille. Une len-
on se sert ainsi pour regarder ou grossir

un objet est un *microscope simple*, et lorsqu'on se sert d'une lentille pour grossir une image déjà grossie par une autre lentille, les deux lentilles forment un *microscope composé*.

Lorsqu'on se sert d'une semblable lentille pour grossir l'image d'un objet éloigné, produite par un simple télescope, les deux lentilles forment ce qu'on appelle le *télescope réfracteur astronomique*, et lorsqu'on s'en sert pour grossir l'image d'un objet éloigné produit par un miroir concave, les deux forment un *télescope réflecteur*, tels que ceux de Le Maire et de Herschell; et lorsqu'on s'en sert pour grossir une image grossie MN (fig. 14), d'un objet *mn* placé devant un miroir concave, les deux forment un *microscope réflecteur*. On décrira tous ces instrumens dans un autre chapitre.

CHAPITRE VI.

Aberration sphérique des lentilles et des miroirs.

(55.) Dans les chapitres précédens, nous avons supposé que les rayons réfractés par des surfaces sphériques se rencontrent exactement en un foyer, mais cela n'est point exactement vrai, et si lecteur a par hasard projeté les rayons par les méthodes décrites, il a dû voir que les rayons les plus près d'une suface sphérique ou d'une lentille, sont réfractés à un foyer *plus éloigné* de la lentille que ceux qui tombent

à quelque distance de l'axe. Les règles que nous avons données pour les foyers des lentilles et des surfaces ne sont vraies que pour des rayons très-près de l'axe.

Pour comprendre la cause de l'aberration sphérique, soit LL (fig. 36) une lentille plano-convexe dont une surface est sphérique, et supposons que sa surface plane LmL soit du côté des rayons parallèles RL, RL. Soit R'L', R'L' des rayons très-près de l'axe AF de la lentille, et soit F leur foyer après la réfraction. Soient RL, RL des rayons parallèles, incidens sur le bord même de la lentille, et on trouvera, par la projection, que les rayons réfractés correspondans Lf, Lf se rencontrent en un point f plus près de la lentille que F. De même, les rayons intermediaires entre RL et R'L' auront des foyers intermédiaires entre f et F. Prolongez les rayons Lf, Lf jusqu'à ce qu'ils rencontrent, en G et H, un plan qui passe par F. La distance fF s'appelle *l'aberration sphérique longitudinale*, et GH *l'aberration sphérique de la lentille.* Dans une lentille plano-convexe placée comme dans la figure, l'aberration sphérique longitudinale fF n'est pas moins de quatre fois et demie mm, épaisseur de la lentille. Il est clair qu'une telle lentille ne peut former en son foyer F une image distincte. Si on l'expose au soleil, la partie centrale de la lentille L'mL', dont le foyer est F, formera en F une image assez brillante du soleil; mais comme les rayons du soleil qui passent par LL, partie extérieure de la lentille, ont leurs foyers entre F et f, les

image qu'elle forme est rendue c
tion sphérique.

On peut s'assurer de ces résult
cercle de papier noir, et en couvr
rieures de la face LL de la len
diminuera le halo GH, et la conf
si l'on couvre toute la lentille,
partie du centre, l'image deviend
tincte, mais moins brillante qu'av
en F. Si, au contraire, on cou
centrale, et qu'on ne laisse qu'u
de la circonférence de la lentil
distincte du soleil se formera au

(56.) Si le lecteur fait un dess
lentille plano-convexe et double
mine les rayons réfractés à diff
l'axe où tombent sur chaque sur
rayons parallèles, il pourra véri
vans pour des lentilles de verre

1. Dans une lentille *plano-c*
plane est tourné vers les rayon

vers l'œil, s'il faut grossir un objet rapproché, l'aberration sphérique est quatre fois et demie son épaisseur *mn*.

2. Dans une lentille *plano-convexe*, dont le côté convexe est tourné vers les rayons parallèles, l'aberration n'est qu'une fois et 17/100 son épaisseur. Donc, en se servant d'une lentille plano-convexe, il faut la placer de manière à ce que les rayons parallèles entrent dans sa surface convexe, ou en sortent.

3. Dans une lentille *double-convexe* à convexités égales, l'aberration est une fois et 67/100 son épaisseur.

4. Dans une lentille *double-convexe*, dont les rayons sont 2 et 5, l'aberration est la même que pour une lentille *plano-convexe*, règle 1, si le côté dont le rayon est 5 est tourné vers les rayons parallèles : et la même que pour une lentille plano-convexe; règle 2, si le côté dont le rayon est 2 est tourné vers les rayons parallèles.

5. La lentille qui a la *moindre aberration sphérique* est une double-convexe, dont les rayons sont 1 et 6. Lorsque le côté dont le rayon est 1 est tourné vers les rayons parallèles, l'aberration n'est qu'une fois et 7/100 son épaisseur; mais lorsque le côté dont le rayon est 6 est tourné vers les rayons parallèles, l'aberration est 3 fois et 45/100 son épaisseur.

Ces résultats sont exactement vrais pour les lentilles plano-concaves et doublement concaves.

Si l'on suppose que la lentille de la moindre aberration sphérique, ait une aberration égale à l'unité,

les aberrations des autres lentilles seront comme ci dessous.

Meilleure forme, comme pour la règle 5. 1,000
Double-concave ou convexe à courbures égales. 1,56
Plano-convexe ou concave dans sa meilleure position, comme pour la règle 2. . 1,08
Plano-convexe ou concave dans la plus mauvaise position, comme pour la règle 1. 4,20

(57.) Comme les parties centrales de la lentille LL (fig. 36), réfractent trop peu les rayons, et les parties extérieures beaucoup trop, il est évident que si l'on augmentait la convexité à *n*, et qu'on la diminuât graduellement vers L, on détruirait l'aberration sphérique. Mais l'hyperbole et l'ellipse sont des courbes ou la courbure diminue de *n* à L, et les mathématiciens ont démontré comment on peut entièrement détruire toute aberration sphérique, en se servant de lentilles dont les sections sont des ellipses ou des hyperboles. On doit cette curieuse découverte à Descartes.

Si ALDL (fig. 36), par exemple, est une ellipse dont le plus grand axe AD est à la distance entre ses foyers F *f*, comme la mesure de réfraction est à l'unité, les rayons parallèles RL, RL incidens sur la surface elliptique LAL sont réfractés par la seule action de cette surface dans des directions qui se rencontreraient exactement au foyer F, s'il n'y avait pas une surface intermédiaire entre LAL et F. Mais, comme une bonne lentille a deux surfaces, du point F,

comme centre, il faut décrire un cercle L*a*L, qui sera la seconde surface de la lentille LL. Comme tous les rayons réfractés à la surface LAL convergent en ligne droite à F, et que la surface circulaire L*a*L est perpendiculaire à chaque rayon réfracté, ces rayons iront à F sans subir aucune réfraction à la surface circulaire. Ainsi, un meniscus dont la surface convexe est une partie ellipsoïde, et dont la surface concave est une partie d'une surface sphérique dont le centre est au foyer le plus éloigné, n'a aucune aberration sphérique, et réfracte les rayons parallèles incidens sur sa surface convexe au foyer le plus éloigné.

De la même manière, une lentille concavo-convexe LL (fig. 39) dont la surface concave LAL est une partie de l'ellipsoïde ALDL, et dont la surface concave LAL est un cercle décrit du foyer le plus éloigné de l'ellipse, force les rayons parallèles RL, RL à diverger dans des directions L*r*, L*r*, qui, prolongés en sens inverse, se rencontrent au foyer F, qui est leur foyer virtuel.

Si une lentille plano-convexe a sa surface convexe LAL (fig. 40), partie d'une hyperboloïde, formée par la révolution d'une hyperbole dont l'axe le plus grand est à la distance entre les foyers comme la mesure de réfraction est à l'unité, les rayons parallèles RL, RL, tombant perpendiculairement sur la surface plane, sont réfractés sans aberration au foyer le plus éloigné de l'hyperboloïde. Une lentille plano-concave, qui a la même surface hyperbolique, et

... surface comme
l'unité. Ainsi, si MLLN (
RL, RL des rayons conve
tance EC, au centre de
meniscus est au rayon CA
de réfraction est à l'un
1,500 est à 1, pour le ver
la première surface, décriv
que FA, un cercle MaN, q
de la lentille. On trouvera
rayons RL, RL, près ou lo
fractés droit au foyer F, et
bent perpendiculairement su
ils iront, sans réfraction au f
que les rayons FL, FL diver
tés en RL, RL, qui diverge
virtuel.

Lorsqu'on découvrit ces pro
de l'hyperbole, et des solide
révolution, les savans exercèr
à former et à poli...

les difficultés pratiques qui restent à sur-
nt si grandes, que les lentilles à surfaces
sont encore à présent les seules en usage
nstrumens d'optique.

quoiqu'on ne puisse détruire ou diminuer
n sphérique des lentilles simples au-delà
et 7/100 leur épaisseur, on peut, en
eux ou plusieurs lentilles, et corrigeant
tions opposées l'une par l'autre, remédier
à ce défaut, en plusieurs cas, et quelque-
ruire entièrement.

I. Herschell a prouvé que si deux lentilles
vexes AB, CD (fig. 42) dont les longueurs
it 2, 3 et 1, sont jointes ensemble par leurs
onvexes, AB la moins convexe étant près de
u'on doit se servir des deux comme d'un mi-
l'aberration n'est que 0,248, ou le quart
'une lentille simple de la meilleure forme.
cette lentille sert à former une image, il
ner AB vers l'objet. Si les deux lentilles ont
longueur focale, l'aberration sphérique est
u un peu plus de la moitié de celle d'une
mple de la meilleure forme.

rschell a aussi fait voir qu'on peut *détruire*
nt l'aberration sphérique par la jonction
niscus CD et d'une lentille double-convexe
43 et 44), la lentille AB étant tournée vers
que le tout sert de microscope, et vers l'ob-
l'il sert comme verre brûlant, ou pour for-
images.

Voici les rayons de courbure de ces culés par M. Herschell.

	Figure
Longueur focale de la lentille *double-convexe* AB. . .	+ 10,0
Rayon de la surface première ou antérieure.	+ 5,8
Rayon de la seconde surface. .	− 35,0
Longueur focale du meniscus CD.	+ 17,8
Rayon de sa première surface.	+ 3,6
Rayon de la seconde surface.	+ 6,2
Longueur focale de la lentille composée.	+ 6,4

ABERRATION SPHÉRIQUE DES MI

(59.) Nous avons déjà dit que lorsq parallèles AM, AN tombent sur un mi MN, ils ne sont réfractés au même foy qu'ils tombent très-près de l'axe AD. Si de ceux qui tombent très-près de l'axe le foyer des plus éloignés, comme entre F et D, et F*f* est l'aberration s gitudinale qui augmente visiblement s mètre du miroir, quoique sa courbure r et suivant la courbure, lorsque le dia même. Ainsi, les images formées par l indistinctes comme celles formées par et par la même raison.

Il est clair que si MN était une

ligne AM parallèle à son axe AD,
, menée d'un point fixe *f*, forment
es égaux avec une ligne CM, per-
courbe MN, on aurait, dans ce
qui réfléchirait les rayons parallèles
foyer *f*, et formerait des images
inctes. La *parabole* est une courbe
lonc, si l'on pouvait construire des
ection MN fût parabolique, ils au-
été inappréciable de réfléchir les
à un seul et même foyer. Lorsque la
oir est très-petite, les opticiens ont
moyens de lui donner une forme
s lorque la courbure est grande, on
ésent trouver de moyen praticable
: cette forme.
ver de même que lorsque des rayons
nt sur un miroir concave d'une
, ils sont réfléchis à différens points
l'on pouvait former une surface
ons incidens et réfléchis, finissent
avec une ligne perpendiculaire à la
d'incidence, les rayons réfléchis se
en un même point qui serait leur
La surface dont la section est une
opriété, et on peut prouver que les
s d'un foyer de l'ellipse sont réfléchis
utre foyer. Ainsi, dans les micros-
s, le miroir doit être une portion
xe du miroir étant l'axe de l'ellip-

(66.) *Caustiques*
les rayons incidens à différens point
susceptible de réflexion à différentes
axe, sont réfléchis à différens foyer
axe, il est évident que les rayons
doivent se couper en des points part
tout où les rayons se coupent, ils
fond blanc qui les reçoit deux fois au
qu'il y en a dans les autres endroi
tions lumineuses forment des lignes
lées *lignes* ou *courbes caustiques*;
leur forme varient évidemment, su
du miroir et la distance du point

Pour expliquer leur formation e
générales, soit MBN un miroir co
(fig. 46), soit C son centre et F s
rayons parallèles et centraux. Soit
divergente de lumière tombant su
rieure MB, du miroir aux points,
En menant du centre C des lignes

conjugué à *f*, entre F et le centre C. Le rayon Ra coupe l'axe plus près de F, et ainsi des autres, les foyers avançant de F à C. En joignant tous les rayons réfléchis avec leurs foyers, on verra qu'ils se couperont mutuellement comme dans la figure, et qu'ils formeront par leursi ntersections la *cour becaustique* M*f*. Si la lumière fût tombée sur la moitié inférieure du miroir, elle aurait formé entre N et *f* une caustique semblable indiquée par une ligne ponctuée. Ainsi, si l'on supppose que le point d'incidence vienne de M à B, les foyers conjugués de deux rayons contigus, ou un faisceau extrêmement mince divergent de R, s'avancera le long de la caustique de M vers *f*.

Supposons maintenant que la surface convexe MBN du miroir soit polie, et que le point rayonnant R soit aussi loin de B vers la droite, qu'il en est vers la gauche, on verra en menant les rayons incidens et réfléchis, qu'ils divergent après la réflexion, et que lorsqu'ils sont prolongés en sens inverse, ils se coupent mutuellement, et forment la caustique imaginaire M*f*'N, située derrière la surface convexe et exactement semblable à la caustique réelle.

Si l'on suppose que le miroir convexe MBN soit achevé, comme MAN, autour du même centre, et que le faisceau de rayons diverge encore de R, ces rayons formeront la caustique imaginaire M*f*'N plus petite que M*f*N, qu'elle touche aux points M et N.

Supposons que le point rayonnant R s'éloigne du miroir MBN, la ligne B*f*, qu'on nomme la *tangente*

la forme et la gran

Mais, si le poin
roir, la *corne f* de
centre C, et la tang
corne *f'* de la caust
et que sa tangente A
rayonnant arrive à la
arrive à A, et la cau
même temps, la corn
peu à la droite de C,
contrent en A au poi

Si l'on suppose qu
dans le cercle AMBN
sorte que RC soit moi
double très-remarquab
se compose de deux
ar, *br*, ayant une corne

de A et de C, et le foyer virtuel et principal du miroir convexe MAN, ces branches courbes deviennent des lignes parallèles; et lorsque R coïncide avec le centre C, les caustiques disparaissent, et toute la lumière est condensée en un seul point mathématique C, d'où elle diverge, et elle est de nouveau réfléchie au même point.

En vertu du principe dont dépendent ces phénomènes, un miroir sphérique a, dans certains cas, la propriété paradoxale de rendre les rayons divergens d'un point fixe, parallèles, divergens ou convergens; de telle sorte que si le point rayonnant est un peu dans le foyer principal du miroir, les rayons qui tombent très-près de l'axe sont réfléchis parallèlement, ceux qui tombent plus près deviennent divergens, et ceux qui tombent plus loin, convergens. On peut s'assurer de cette propriété en projetant les rayons réfléchis.

On voit quelquefois des courbes caustiques très-distinctes et très-belles, au fond des vaisseaux cylindriques de porcelaine ou de poterie qui se trouvent exposés à la lumière du soleil ou d'une chandelle; mais ordinairement les rayons tombent trop obliquement sur leur surface cylindrique à cause de leur profondeur : on peut détruire cette profondeur et faire voir les courbes caustiques, en mettant un morceau rond de carte ou de papier blanc à un pouce (25 millimètres) à peu près de leur bord supérieur, ou en les remplissant jusqu'à cette hauteur de lait ou de tout autre fluide blanc et opaque.

D'ailleurs j'ai trouvé très-instructi
mode la méthode suivante de form
caustiques. Prenez un morceau d'un
très-poli, comme un ressort de montre
et lui ayant donné une forme conca
la figure, placez-le verticalement su
une carte ou un morceau de pap
Exposez-le aux rayons du soleil ou de
lumineux, ayant soin que le plan de
papier passe presqu'au travers des ray
les deux courbes caustiques indiquée
se formeront très-belles. En variant
ressort et lui donnant différentes
verra distinctement toutes sortes de
leurs cornes et points de courbure
peut donner à l'acier différentes courb
quant une partie de sa largeur sur l
mandées, et dessinées sur du bois c
assez profondément en ces endroit
puisse y insérer le côté du mince mo
L'or ou l'argent en feuilles est très-
et, lorsque la lumière est forte, un
de mica peut être employé. Cependan
substance est une feuille mince d'arg

(61.) *Caustiques formées par la ré*
expose un globe de verre rempli d'ea
tille sphérique solide, ou même le co
noir rond rempli d'eau, aux rayons
la lumière d'une lampe ou d'une chan
reçoive la lumière réfractée sur du

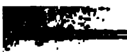
che d'op-
de la lu-
osition et
lécompo-
tion de la
épaisses ;
lumière.

ire.

ous avons
mple dont
de réfrac-
es mêmes
rens réa-
nt la cons-
e qui pro-
lumineux,
le *rouge*,

[illegible]

[illegible]



DEUXIÈME PARTIE.

OPTIQUE-PHYSIQUE.

(62.) L'OPTIQUE-PHYSIQUE est une branche d'optique qui traite des propriétés physiques de la lumière. Ces propriétés constituent la décomposition et la recomposition de la lumière blanche ; sa décomposition par l'absorption, l'inflexion ou diffraction de la lumière ; les couleurs des plaquesminces et épaisses ; et la double réfraction et polarisation de la lumière.

CHAPITRE VII.

Couleurs et décomposition de la lumière.

(63.) DANS les chapitres précédens, nous avons regardé la lumière comme une substance simple dont toutes les parties avaient la même mesure de réfraction, et qui par conséquent offraient les mêmes changemens, lorsque des milieux transparens réagissaient sur elle. Telle n'est point cependant la constitution de la lumière. La lumière blanche qui provient du soleil ou de tout autre corps lumineux, est composée de sept rayons différens : le *rouge*,

leil SH (fig. 50), da
volet EF d'une cham
droite former une ta
l'on interpose un pris
tion est BAC, de tell
la première surface CA
de sa seconde surface
si l'on reçoit le rayon
plutôt sur un écran b
les principes déjà donn
bait avant sur P, épr
ment de direction, et i
ronde et blanche, exac
cela n'arrive point, car
on verra sur l'écran M
du soleil, contenant sept
l'*orangé*, le *jaune*, le *v*
violet; toute la lumière

n *rouge* brillant. Le *rouge* se change par des tions imperceptibles en *orangé*, l'*orangé* en , le *jaune* en *vert*, le *vert* en *bleu*, le *bleu* en *o* pur, et l'*indigo* en *violet*. On ne voit point ne sur ce spectre, et il est très-difficile à l'œil s perçant de distinguer les limites des couleurs entes. Cependant, après plusieurs essais, sir Newton trouva pour le verre dont son prisme fait, les longueurs suivantes des couleurs. Nous ajouté les résultats obtenus par Fraunhofer du *flint-glass*.

	Newton.	Fraunhofer.
e.	45	56
gé.	27	27
e.	40	27
. . . .	60	46
. . . .	60	48
o.	48	47
t.	80	109
ueur totale. . . .	360	360

s couleurs n'ont pas toutes le même éclat. A émité inférieure L du spectre, le rouge est arativement faible, mais devient plus brillant u'il approche de l'orangé. La lumière augmente uellement jusqu'au milieu du jaune, où elle est us brillante ; et elle décroît graduellement jus- l'extrémité supérieure ou violette K du spectre, lle est extrêmement faible.

4.) Sir Isaac Newton a conclu, d'après les phéno-

menes que nous avons décrits, que la masse
miere blanche se compose de lumiere de
leurs différentes, et que le verre dont se
son prisme, avait différentes mesures de
pour chaque espece de lumiere, la mesu
fraction du *rouge* étant la moindre, et cel
let la plus grande.

Si le prisme est fait de crown-glass, pa
les mesures de réfraction des rayons de
couleurs seront comme il suit :

Couleurs.	Mesures de
Rouge.	:
Orangé.	:
Jaune.	:
Vert.	1
Bleu.	1
Indigo.	:
Violet.	:

Maintenant, si l'on dessine le prisme B
grande échelle, et qu'on détermine la r
rayons réfractés qu'on suppose incidens s
point de la première surface CA, en se se
chaque rayon de la mesure de réfractio
dans la table précédente, on verra qu'il
comme dans la figure précédente, et qu'i
les couleurs différentes dans le même
celles du spectre.

Pour examiner séparément chaque c
Isaac fit dans l'écran MN, un trou oppos

de chaque espace coloré, et fit tomber cette couleur particulière sur un second prisme placé derrière le trou. Cette lumière, réfractée par le second prisme, ne formait pas une image oblongue comme avant, et n'était pas réfractée en différentes couleurs. Il en conclut que la lumière de chaque couleur différente avait la même mesure de réfraction, et il appela cette lumière *homogène* ou *simple*, la lumière *blanche* étant regardée comme *hétérogène* ou *composée*. Cette doctrine importante s'appelle la *réfrangibilité différente des rayons de lumière*. Les couleurs différentes, telles qu'elles existent dans le spectre, s'appellent couleurs *primitives*, et tous leurs mélanges ou combinaisons s'appellent couleurs *secondaires*, parce qu'on peut facilement les décomposer en leurs couleurs primitives par la réfraction au travers d'un prisme.

(65.) Ayant ainsi clairement établi la composition de la lumière blanche, sir Isaac prouva aussi par l'expérience que les sept couleurs combinées de nouveau et renvoyées au même endroit, formaient ou *recomposaient* la lumière blanche. Il prouva cette vérité importante par plusieurs expériences, mais la démonstration suivante est si claire, qu'on n'a guère besoin d'autres preuves. Approchez graduellement du prisme BAC l'écran MN (fig. 50) qui reçoit le spectre, le spectre KL diminue graduellement; mais, quoique les couleurs commencent à se mêler et à empiéter l'une sur l'autre, on distingue néanmoins, lors même que l'écran arrive à la face BA

du prisme, les couleurs qui composent la lu
maintenant on prend un prisme B*a*A, expri
gnes ponctuées, fait du même verre que BAC
l'angle réfracteur AB*a* est exactement égal
réfracteur BAC de l'autre prisme, et qu'on
dans la direction opposée, on verra que
rayons différens qui tombent sur le secon
AB*a*, se trouvent réunis en un seul rayon
mière blanche *g*P, formant un rond de lum
comme si l'on n'avait interposé aucun pri
produirait cet effet, même en joignant
surfaces AB des deux prismes par un cime
parent de la même force réfractive que l
afin de détruire toute réfraction à la surfa
mune AB. Dans cet état, les deux prismes
ne sont qu'un épais morceau de verre BCA
les deux côtés AC, *a*B, sont exactement pa
et la décomposition de la lumière par la r
de la première surface AC, est contrebalan
la réfraction opposée et égale de la seconde
*a*B; c'est-à-dire que la lumière décomposé
première surface est recomposée par la secon
peut prouver la réfraction et la réunion des
dans cette expérience, en plaçant une épaiss
d'huile de cassia entre deux plaques paral
verre, et en faisant tomber dessus, très-
ment, un très-petit rayon de la lumière du
on verra distictement le spectre formé par
de la première surface, et la réunion des
on de la seconde. Ainsi, on peut co

l'action d'une plaque de verre parallèle sur les rayons du soleil, c'est-à-dire sa propriété de les transmettre incolores, comme une preuve suffisante de la recomposition de la lumière.

On peut prouver cette doctrine par l'expérience suivante : mêlez sept poudres différentes, ayant les couleurs du spectre, en prenant de chaque une quantité proportionnelle aux rayons de chaque espace coloré. Le mélange est un blanc-gris, parce qu'il est impossible d'obtenir des poudres des couleurs convenables. On obtiendra le même résultat en prenant un cercle de papier divisé en secteurs de la même grandeur que les espaces colorés, si l'on place ce cercle sur une toupie qui tourne rapidement ; les couleurs ainsi mêlées formeront un blanc-gris.

DÉCOMPOSITION DE LA LUMIÈRE PAR L'ABSORPTION.

(66.) Si l'on mesure la quantité de lumière réfléchie par les surfaces et transmises au travers de la substance des corps transparens, on verra que la somme de ces quantités est toujours moindre que la quantité de lumière qui tombe sur le corps. On peut en conclure qu'une certaine portion de lumière est *perdue* en passant à travers les corps les plus transparens. Cette perte provient de deux causes. Une partie de la lumière est renvoyée dans toutes les directions par une réflexion irrégulière de la surface mal polie de certains milieux ou par l'union défectueuse de ses parties, tandis qu'une autre portion,

qui est ordinairement plus grande, est *absorbée* ou arrêtée par les molécules du corps. Les fluides colorés, comme les encres noires et rouges, quoiqu'également homogènes, arrêtent ou absorbent différentes sortes de rayons, et exposés au soleil se chauffent à différens degrés, tandis que l'eau pure semble transmettre également tous les rayons, et se chauffe à peine par la lumière du soleil.

Lorsqu'on examine plus attentivement l'action des verres et des fluides colorés pour absorber la lumière, on aperçoit plusieurs phénomènes remarquables qui répandent un grand jour sur ce sujet curieux.

Si l'on prend un verre bleu comme celui dont on se sert quelquefois pour les lorgnettes, et qu'on fasse passer au travers un rayon de lumière blanche, la lumière est d'un beau bleu foncé. Ce bleu n'est pas une couleur simple et homogène comme le bleu ou l'indigo du spectre, mais un mélange de toutes les couleurs de la lumière blanche que le verre n'a pas absorbé, et les couleurs que le verre a absorbé sont celles qui manquent au bleu pour former la lumière blanche, ou qui, mêlées à ce bleu, formeraient la lumière blanche. Pour savoir quelles sont ces couleurs, transmettons au travers du verre bleu le spectre prismatique KL (fig. 50), ou ce qui revient au même, que l'observateur place son œil derrière le prisme BAC et regarde au travers, le soleil, ou plutôt une ouverture circulaire faite dans le volet d'une chambre obscure, il verra au travers du prisme le spectre

KL aussi loin en dessous de l'ouverture qu'il était au-dessus du point P, lorsqu'il était sur l'écran. Si l'on interpose le verre bleu entre l'œil et le prisme, on verra un spectre très-remarquable, manquant de certains rayons colorés. Une noirceur particulière absorbe le milieu du rouge, tout l'orangé, une grande partie du vert, une partie considérable du bleu, un peu de l'indigo, et très-peu du violet. Le jaune, qui n'a pas été très-absorbé, *a augmenté de largeur*. Il occupe d'un côté une partie de l'espace autrefois occupé par l'*orangé*, et de l'autre une partie de l'espace occupé par le *vert*. Il s'en suit que le verre bleu a absorbé la lumière *rouge* qui, mêlée avec le *jaune*, forme l'*orangé*, et a absorbé aussi la lumière *bleue* qui, mêlée avec le *jaune*, forme la partie du *vert* qui touche le *jaune*. Ainsi par l'absorption, nous avons décomposé la lumière *verte* en *jaune* et *bleue*, et l'*orangé* en *jaune* et *rouge ;* et il s'en suit que les rayons *orangés* et *verts* du prisme, peuvent se décomposer par l'absorption, quoiqu'ils ne puissent être décomposés par la réfraction prismatique; et qu'ils se composent de deux couleurs différentes, qui possèdent le même degré de réfrangibilité. Ainsi, *la différence de couleur n'est pas un indice de la différence de réfrangibilité*, et l'on ne peut plus admettre comme vérité générale, la conséquence qu'en déduit Newton. « Que la même couleur appartient toujours au même degré de réfrangibilité, et que le même degré de réfrangibilité appartient toujours à la même couleur. »

Dans le but d'obtenir une analyse complète du spectre, j'ai examiné les spectres produits par différens corps, et les changemens qu'ils éprouvent par l'absorption, lorsqu'on les regarde au travers de certains milieux colorés, et j'ai trouvé que la couleur de chaque partie du spectre peut changer non-seulement d'intensité, mais même de couleur par l'action de certains milieux, et d'après ces observations, qu'il serait trop long de détailler, je conclus que le spectre solaire se compose de trois spectres de longueurs égales, un *rouge*, un *jaune* et un *bleu*. Le spectre *rouge primitif* a son maximum d'intensité vers le milieu du *rouge* du spectre solaire; le *jaune primitif* a son maximum au milieu du *jaune*, et le *bleu primitif* entre le *bleu* et l'*indigo*. Les deux *minima* de chaque spectre primitif coïncident aux deux extrémités du spectre solaire.

D'après cette constitution du spectre solaire, on peut conclure que :

1. La lumière *rouge*, *jaune* et *bleue* existe à chaque point du spectre solaire.

2. Comme la lumière *blanche* se compose d'une certaine portion de *rouge*, de *jaune* et de *bleu*, on peut regarder la couleur de chaque point du spectre comme se composant de la couleur prédominante de ce point, mêlée à la lumière blanche. Dans l'espace rouge, il y a plus de rouge qu'il n'en faut pour former le blanc, avec le peu de jaune et de bleu qui y existent; dans le jaune, il y a plus de jaune qu'il n'en faut pour faire du blanc avec le rouge et

le bleu; et dans l'espace bleu qui paraît violet, il y a plus de rouge que de jaune, c'est pourquoi le surplus du rouge forme un violet avec le bleu.

3. En absorbant à un point du spectre l'excès d'une couleur au-dessus de ce qui est nécessaire pour former la lumière blanche, on peut faire paraître à ce point une lumière blanche qui a la propriété remarquable de rester blanche après une réfraction répétée plusieurs fois, et de n'être décomposable que par l'absorption. J'ai réussi à développer cette lumière blanche en différentes parties du spectre. Ces découvertes se rapportent d'une manière remarquable à l'hypothèse de *trois* couleurs, adoptée par plusieurs philosophes, et rejetée par d'autres à cause de son incompatibilité avec les phénomènes du spectre.

La figure 51, où MN est le spectre prismatique, composé de trois spectres primitifs de même longueur, un *rouge*, un *jaune* et un *bleu*, fera voir l'existence de trois couleurs primitives dans le spectre, et la manière dont elles produisent, par leur combinaison, les sept couleurs secondaires ou composées, développées par le prisme. Le spectre *rouge* a son maximum d'intensité à R, et cette intensité peut être représentée par la distance du point R à MN. Cette intensité diminue rapidement vers M et N, et arrivée à ces points elle disparaît. Le *jaune* a son maximum d'intensité à Y, l'intensité diminuant jusqu'à *zéro* en M et N, et le *bleu* a son maximum d'intensité à B, diminuant jusqu'à *zéro* en M et N. La courbe

générale, qui représente la lumière totale, est en dehors de ces trois courbes, et son ordonnée à un point quelconque, sera égale à la somme des trois ordonnées au même point. Ainsi l'ordonnée de la courbe générale à Y, est égale à celle de la courbe jaune, qu'on peut supposer égale à 10 ; plus, celle de la courbe rouge, qui peut être 2 ; plus, celle de la courbe bleue, qui peut être 1 : ainsi l'ordonnée générale est 13. Or, en supposant que trois parties de jaune, deux de rouge et une de bleu forment le blanc, la couleur à Y serait égale à 3+2+1, ou à six parties de blanc mêlées à sept de jaune, c'est-à-dire que la teinte composée à Y, sera un jaune brillant, sans mélange de rouge ou de bleu. Comme ces couleurs occupent toutes la même place dans le spectre, elles ne peuvent être séparées par le prisme et si l'on trouvait un verre coloré qui absorbât sept parties du jaune, on obtiendrait au point Y une lumière blanche indécomposable par le prisme.

CHAPITRE VIII.

Dispersion de la lumière.

Dans les observations précédentes, nous avons considéré le spectre KL (fig. 50), comme produit par un prisme réfracteur en verre ayant un angle réfracteur donné BAC. Le rayon vert *g*G qui, étant à égale distance de *g*K et *g*L, s'appelle le *rayon moyen* du spectre, a été réfracté de P à G ou au travers d'un angle de déviation P*g*G qu'on appelle

la réfraction ou déviation moyenne produite par le prisme. En augmentant l'angle BAC du prisme, on augmente la réfraction. Le rayon moyen *g*G est réfracté à une plus grande distance de P, et les rayons extrêmes *g*K, *g*L, à une plus grande distance dans la même proportion, c'est-à-dire que si *g*G est réfracté deux fois autant, *g*K, *g*L, sont aussi réfractés deux fois autant, et par conséquent la longueur du spectre KL est deux fois aussi grande. Par la même raison, en diminuant l'angle BAC du prisme, on diminue dans la même proportion le spectre et la réfraction moyenne, mais quel que soit l'angle du prisme, la longueur KL a toujours le même rapport à GP, réfraction moyenne.

Sir Isaac Newton supposait que les prismes faits de substances quelconques produisaient des spectres ayant la même proportion à la réfraction moyenne que les prismes de verre; et il est très-remarquable qu'un si grand philosophe n'ait pas aperçu un fait évident, que des corps différens produisaient des spectres de longueurs différentes, quoique leur moyenne réfraction soit la même.

Supposons que le prisme BAC soit en *crown-glass*, prenez-en un autre en *flint-glass* ou en *cristal blanc*, un angle réfracteur tel que, lorsqu'il est dans la position BAC, la lumière le pénètre et le quitte à angles égaux, et réfracte le rayon moyen au même point G. Les deux prismes devraient avoir la même réfraction moyenne. Mais, lorsqu'on examine le spectre produit par le prisme de *flint-glass*, on

moyen g G.

Pour expliquer plus clairement
mesure de la force dispersive d'un
que, dans le prisme de crown-glass
de réfraction, pour l'extrême rayo
1, 5466, et pour l'extrême roug
différence de ces mesures, ou o
mesure de la force dispersive du
avait la même réfraction moyenne
mais comme il s'en faut de bea
dispersive doit être mesurée d'aprè
0, 0208 et la moyenne réfraction
la quantité dont cette dernière sur
0, 5330, quantité à laquelle la ré
est toujours proportionnelle. Pour
prendre ceci, supposons qu'on dem
les forces dispersives du diamant
La mesure de réfraction du diama

re de réfraction surpasse l'unité, ou 1, 419, est
ue *trois* fois plus grande que la même différence
le crown-glass, qui est de 0, 533, et par consé-
t, la force dispersive du diamant surpasse de
peu celle du crown-glass. Les deux forces dis-
ves sont ainsi qu'il suit :

		Forces dispersives.
m-glass.	$\frac{0,208}{0,533}$	0,0386
iant.	$\frac{,056}{1,439}$	0,0388

a peut prouver par l'expérience cette similarité
rces dispersives, en prenant un prisme de dia-
, qui, placé dans la position BAC (fig. 50),
uit la même réfraction moyenne que le rayon
gG. On verrait alors que son spectre a la même
ueur que celui du prisme de crown-glass. Ainsi,
ouleurs brillantes qui distinguent le diamant de
s les autres pierres précieuses, ne sont pas dues
grande force dispersive, mais à sa grande réfrac-
moyenne.

omme les mesures de réfraction données dans
: tableau des forces réfractives sont presque faites
le rayon moyen du spectre, on peut, d'après
conde colonne de la table des forces dispersives
corps, donnée dans l'appendice, N° 1, obtenir
pproximation les mesures de réfraction pour les
is extrêmes rouges et violets, en ajoutant la
ié du nombre de la colonne à la mesure de
ction moyenne, pour avoir la mesure de réfrac-
du violet, et en retranchant la moitié de ce

du rayon moyen du spectre.

Connaissant la mesure de réfraction d
trême, on peut déterminer la position et
des spectres produits par des prismes d
différentes, quel que soit leur angle r
position du prisme, ou la distance de
reçoit le spectre.

Si l'on prend un prisme de crown-
autre de flint-glass, avec des angles réf
que leurs spectres aient absolument la
gueur, on verra que, lorsque les deux
placés avec leurs angles réfracteurs da
tions opposées, ils ne rendront pas le
fracté à l'état de lumière blanche, ce q
combinaison de deux prismes égaux de
flint-glass. La lumière blanche P (fig. 5
d'un côté de *pourpre*, et de l'autre
appelle ce spectre *spectre secondaire*, e
couleurs secondaires, et il est clair qu'
de ce que les espaces colorés du spec

is, par deux prismes creux contenant, l'un de l'huile de cassia, et l'autre de l'*acide sulfurique*. Le spectre d'huile de cassia sera comme AB (fig. 52), et celui d'acide sulfurique comme CD. Dans le premier, les espaces *rouges*, *orangés* et *jaunes* sont moindres que dans le dernier; tandis que les espaces *bleus*, *indigos* et *violets* sont plus grands; les rayons les *moins* réfrangibles étant pour ainsi dire contractés dans le premier, et développés dans le second, tandis que les rayons les *plus* réfrangibles sont développés dans l'un, et contractés dans l'autre. D'après cette différence dans les espaces colorés, le rayon moyen ou du milieu *mn*, ne passe pas par la même couleur dans les deux spectres. Dans le spectre d'*huile de cassia*, il est dans le *bleu*, et dans le spectre d'*acide sulfurique*, dans le *vert*. Comme les espaces colorés n'ont pas entre eux le même rapport que la longueur des spectres qu'ils composent, cette propriété a été nommée *irrationalité* ou *dispersion* des espaces colorés du spectre.

Pour voir si un prisme contracte ou développe plus qu'un autre les rayons réfrangibles, ou lequel des deux a le plus d'action sur la lumière verte, prenez un prisme de chaque sorte, à angles tels que chacun corrige autant que possible la dispersion de l'autre, ou qu'ils produisent des spectres de même longueur. Si au travers des prismes placés de telle manière que leurs angles réfracteurs soient dans des directions opposées, on regarde le barreau de la fenêtre parallèle à la base du prisme, ses bords seront

parfaitement incolores, si les deux prismes agissent également sur la lumière verte, mais s'ils agissent différemment sur cette lumière, le barreau aura une bordure *pourpre* d'un côté, et *verte* de l'autre, et la bordure verte est toujours du même côté du barreau que le bord du prisme qui contracte l'espace jaune, et développe le bleu et le violet, c'est-à-dire que si les prismes sont du flint et du crown-glass, la bordure verte sera au bas du barreau lorsque le bord du prisme de flint-glass est tourné en bas. Le flint-glass agit donc moins que le crown-glass sur la lumière verte, et contracte plus les espaces rouges et jaunes. Voyez l'appendice, N° 2.

CHAPITRE IX.

Du principe des télescopes achromatiques.

En traitant de la marche des rayons au travers des lentilles, nous avons supposé que la lumière était homogène, et que chaque rayon qui avait le même angle d'incidence avait aussi le même angle de réfraction, ou ce qui revient au même, que chaque rayon qui tombait sur la lentille avait la même mesure de réfraction. Les observations des deux chapitres précédens ont cependant prouvé que cela n'est pas vrai, et que lorsque la lumière tombe sur du crown-glass, par exemple, il y a des rayons qui ont toutes les mesures de réfraction, depuis 1, 5258

mesure de réfraction pour le rouge extrême, jusqu'à 1, 5466, mesure de réfraction pour le violet extrême. Comme la lumière du soleil qui rend visibles tous les corps naturels, est blanche, cette propriété de la lumière (la différente réfrangibilité de ses parties) affecte beaucoup la formation des images par des lentilles de toute espèce.

Pour mieux l'expliquer, soit LL une lentille de crown-glass, et RL, RL des rayons de lumière blanche incidens dessus parallèlement à son axe R*r*. Comme chaque rayon RL de lumière blanche se compose de sept rayons différens, ayant différens degrés de réfrangibilité ou différentes mesures de réfraction, il est évident que tous les rayons qui composent RL ne peuvent être réfractés dans la même direction, de manière à tomber en un seul point. Les rayons *rouges* extrêmes, par exemple, à RL, RL, dont la mesure de réfraction est 1, 5258, si on les fait passer par la lentille par la méthode précédente, auront leur foyer en *r*, et C*r* sera la longueur focale de la lentille pour les rayons rouges. De même, les rayons extrêmes *violets* qui ont une plus grande mesure de réfraction, ou 1, 5466, sont réfractés à un foyer *o* beaucoup plus près de la lentille, et C*o* sera la longueur focale de la lentille pour les rayons *violets*. La distance *or* s'appelle *l'aberration chromatique*, et le cercle dont le diamètre est *ab* qui traverse le foyer des rayons moyens réfrangibles, s'appelle le cercle de la moindre aberration. On peut le prouver par l'expérience, en exposant

papier aura une bord
section du cône $l'abl'$ d
sont *violets*, étant le
lets Lv, Lv. Comme
lentille est combinée
tique, on verra mieux l
nant une grosse lentil
toute la partie centrale
une légère bordure pou
lumière. On verra dis
différens rayons colorés
soleil sur les différens c

D'après ces observatio
tille formera à v une im
rouge à r, et les image
spectres à des points inte
sorte que si l'on place l'œ
verra une image

fractés par une seule lentille, divergent comme s'ils venaient de rayons séparés *v* et *r*, situés devant la lentille.

Maintenant, si derrière LL, on place une lentille concave GG du même verre et d'une courbure égale, il est clair, puisque *v* est le foyer virtuel des rayons *violets*, et *r* le foyer virtuel des rayons *rouges*, que si l'on place un papier à *ab*, foyer des rayons moyens réfrangibles, où les rayons *rouges* et *violets* se coupent en *a* et *b*, l'image sera plus distincte que dans toute autre position, et lorsque des rayons convergent au foyer d'une lentille concave, ils sont réfractés dans des directions parallèles, c'est-à-dire que la lentille concave réfracte ces rayons divergens dans les directions parallèles G*l*, G*l*, et ils forment de nouveau la lumière blanche. Les rayons *rouges* et *violets* seront alors réunis en un seul G*l*, ce qu'on peut prouver en les projetant, mais on le comprendra en considérant que les deux lentilles LL, GG, forment un verre parallèle, la surface concave extérieure de GG étant parallèle à la surface convexe extérieure de LL.

(67.) Mais quoiqu'on ait corrigé au moyen de la lentille GG, la couleur produite par LL, c'est une combinaison inutile, puisqu'elles n'agissent que comme un verre plane, et sont incapables de former une image. Si cependant la lentille concave GG a un foyer plus long que LL, les deux lentilles combinées agiront comme une lentille convexe, et formeront des images derrière, puisque les rayons

Gl, *Gl* convergent dans ce cas à un foyer derrière LL. Mais comme l'aberration chromatique de GG est moindre que celle de LL, l'une ne corrigera pas l'autre; de sorte que la différence des deux aberrations sera encore la même. Ainsi il est impossible de former une image incolore avec *deux lentilles du même verre*. Comme sir Isaac Newton croyait que toutes les substances quelconques produisaient la même quantité de couleur ou avaient la même aberration chromatique lorsqu'elles formaient des lentilles, il en conclut qu'il était impossible de produire la réfraction sans couleur par la combinaison d'un verre concave avec un convexe. Mais nous avons déjà vu que les principes sur lesquels il fondait cette conclusion, ne sont point vrais, et que les corps ont différentes forces dispersives ou produisent différens degrés de couleur à la même moyenne réfraction. Ainsi des lentilles différentes peuvent produire le même degré de couleur lorsqu'elles ont différentes longueurs focales, de sorte que si la lentille LL est faite de crown-glass, dont la mesure de réfraction est 1, 519, et la force dispersive 0, 036, et la lentille GG de flint-glass, dont la mesure de réfraction est 1, 589 et la force dispersive 0, 0393, et si la longueur focale de la lentille convexe de crown-glass est de 4 pouces 1/3 (111 millimètres), et celle de la lentille concave de flint-glass de 7 pouces 2/3 (198 millimètres), elles formeront une lentille d'une longueur focale de 10 pouces (254 millimètres) qui réfracte la lumière blanche à un foyer incolore,

Une telle lentille s'appelle *lentille chromatique*, et lorsqu'on s'en sert comme de télescope avec un autre verre pour grossir l'image incolore des objets éloignés formée par la lentille, elle forme un télescope achromatique, une des plus belles inventions du dernier siècle. Quoique Newton, raisonnant d'après ses connaissances imparfaites des forces dispersives des corps, eût prononcé que cette découverte était impossible, elle fut faite peu après la mort de ce grand philosophe par un M. Hall, et ensuite par M. Dollond, qui l'amena à un haut degré de perfection.

L'image formée par une lentille achromatique ainsi construite eût été parfaite si les spectres égaux formés par le crown et le flint-glass étaient entièrement semblables; mais, comme nous avons vu que les espaces colorés de l'un ne sont pas égaux à ceux de l'autre, il reste un spectre secondaire, et les images de tous les objets lumineux, vus au travers d'une telle lentille, seront bordées d'un côté de pourpre, et de l'autre de vert. Si l'on pouvait trouver deux substances de différentes forces dispersives et réfractives et capables de former deux spectres égaux dont les espaces colorés fussent égaux, on aurait une parfaite lentille achromatique, mais comme on n'a pas trouvé de telles substances, les savans ont tenté de détruire cette imperfection par d'autres moyens, et le docteur Blair a eu le mérite de surmonter cette difficulté. Il trouva que l'acide muriatique (hydrochlorique) a la propriété de for-

dispersive de l'acide
solutions métallique
moine, et il trouva q
sans changer la loi d
des espaces colorés d
muriate d'antimoine
vexes de crown-glass
Blair réussit à réfracter
à un seul foyer F, sans
secondaire. Avant de
l'acide muriatique, il a
binaison plus compliqu
effet, mais comme il p
ploya pour ses meilleurs
a pas besoin d'en dire p

Dans ces observations
les lentilles combinées

prismes pouvaient produire une réfraction sans couleur, et que deux lentilles pouvaient converger la lumière blanche à un seul foyer, quand même les prismes ou lentilles seraient du même verre. Lorsqu'un prisme d'un angle différent corrige ainsi la dispersion d'un autre, il se forme un *spectre tertiaire*, qui dépend des angles auxquels la lumière est réfractée aux deux surfaces des prismes. Voyez *Traité des nouveaux instrumens de physique, par Brewster, page 400.*

CHAPITRE X.

Des propriétés physiques du spectre.

(68.) Dans le chapitre précédent, nous n'avons considéré que celles des propriétés générales du spectre solaire, d'où dépendent la construction des lentilles achromatiques. Nous allons maintenant donner une idée générale de ses propriétés physiques.

DE L'EXISTENCE DE LIGNES FIXES DANS LE SPECTRE.

En 1802, Le Dr. Wollaston annonça que, dans le spectre formé par un prisme de flint-glass, sans veines, lorsque l'objet lumineux était une planche large d'un vingtième de pouce (1 millimètre) et vue à la distance de 10 ou 12 pieds, (3048 ou 3658 millimètres) il y avait deux lignes sombres et fixes, une dans le bleu, l'autre dans le vert. Cette

spectre était traversée
lignes sombres de diff
coïncide avec les bor
sont près de 600, et
angle de 5 à 10 second
particulièrement sept d
G, H (fig. 55), comme d
B est dans le *rouge*, pr
qui est large et noire est
D est dans *l'orangé*, et
et distincte, les deux li
même grandeur, et sépar
E est dans le *vert*, et se c
celle du milieu étant la pl
c'est une ligne très-marqu
H dans le violet. Outre c
qui méritent d'être menti
ligne sombre et bi

avec un espace brillant entre les deux plus grosses; entre F et *b*, il y en a 52; entre F et G, 185; et entre G et H, 190, plusieurs étant rassemblées à G.

Ces lignes sont distinguées avec la même facilité dans les spectres produits par tous les corps fluides et solides, et quelles que soient les longueurs des spectres et les proportions des espaces colorés, les lignes ont la même position relativement aux bornes des espaces colorés, c'est pourquoi leurs distances proportionnelles varient suivant la nature du prisme qui les produit. Cependant, leur nombre, leur disposition et leur intensité sont invariables pourvu qu'on se serve de lumière venant directement ou indirectement du soleil (1). On aperçoit des bandes semblables dans la lumière des *planètes* et des *étoiles fixes*, ainsi que dans celle des *flammes colorées* et de *l'étincelle électrique*.

Les spectres de *Mars* et de *Vénus* contiennent les lignes D, E, *b* et F, comme dans la lumière solaire et dans la même position. Dans le spectre de *Sirius*, on ne peut voir de lignes fixes dans le *jaune* et dans *l'orangé*; mais dans le *vert*, il y avait une raie très-marquée, et deux dans le *bleu*. Elles ne ressemblent cependant à aucune des lignes de la lumière planétaire. *Castor* donne un spectre également semblable à celui de *Sirius*, la raie dans le *vert* étant exactement à la même place; Fraunhofer vit aussi les raies du *bleu*, mais ne put s'assurer

(1) Fraunhofer trouva les mêmes lignes pour la lumière de la lune.

fixes bien marquées, e
aux mêmes endroits que
ressemble au spectre de
Procyon, Fraunhofer vit
mais quoiqu'il observât
il ne put determiner leu
spectre de la lumière él
nombre de lignes brillan
mière d'une lampe *ne co*
fixes et sombres qui se tro
laire, mais il y a dans *l'a*
et plus distincte que le r
double, et se trouve au m
le spectre solaire. Le spe
par un chalumeau contient
et brillantes (1).

(69.) Un des résultats prat
de la découve...

réfractives des corps; et en mesurant les distances des lignes B, C, D, etc. Fraunhofer calcula les mesures de réfraction de différentes substances, décrites dans l'Appendice, n° 111. D'après les nombres donnés dans cette table, on peut calculer les rapports des forces dispersives de deux substances par la méthode expliquée précédemment.

DE LA FORCE DE CLARTÉ DU SPECTRE.

(70.) Avant M. Fraunhofer, la force de clarté des différentes parties du spectre n'avait été obtenue que par approximation. A l'aide d'un *photomètre*, il obtint les résultats suivans :

Le maximum de clarté se trouva être en M (fig. 55) situé de telle sorte que D M est près du tiers ou du quart de D E, et ainsi cet endroit est à la séparation du jaune et de l'orangé. Appelant 100 la clarté en M où elle est à son maximum, la clarté des autres points est ainsi qu'il suit :

Clarté à l'extrémité rouge.	0,00
—— à B.	3,20
—— à C.	9,40
—— à D.	64,00
Maximum de clarté à M.	100,00
Clarté. à E.	48,00
—— à F	17,00
—— à G.	3,10
—— à H.	0,56
—— à l'extrémité violette	0,00

Nommant 100 l'intensité de la lumière dans l'espace le plus brillant D E, Fraunhofer trouva que la lumière avait l'intensité suivante dans les autres endroits :

Intensité de la lumière	à BC. . .	2,10
——	à CD. . .	29,90
——	à DE. . .	100,00
——	à EF. . .	32,80
——	à FG. . .	18,50
——	à GH. . .	3,50

Il suit de ces résultats que, dans le spectre examiné par Fraunhofer, le rayon le plus lumineux est plus près du rouge que du violet, dans la proportion de 1 à 3, 50; et que le rayon moyen est presqu'au milieu du *bleu*. Comme cependant, dans les circonstances ordinaires, on ne voit pas une grande partie de l'extrémité violette du spectre, ces résultats ne peuvent s'appliquer à des spectres produits dans de tels cas.

DE LA FORCE DE CALORIQUE DU SPECTRE.

(71.) Les savans avaient toujours supposé que la force de calorique des spectres était proportionnelle à la quantité de lumière, et Landriani, Rochon, et Sennebier avaient trouvé que le *jaune* était le plus chaud des espaces colorés. Cependant le docteur Herschel prouva, par une série d'expériences, que la force de calorique augmentait graduellement de l'extrémité violette à l'extrémité rouge

du spectre. Il trouva aussi que le thermomètre continuait à monter lorsqu'il était placé au-delà de l'extrémité rouge du spectre, où l'on ne pouvait apercevoir un seul rayon de lumière.

Il en déduisit la conclusion importante, qu'*il y avait dans la lumière solaire des rayons invisibles qui produisaient de la chaleur, et qui avaient un moindre degré de réfrangibilité que la lumière rouge*. Le docteur Herschel désirait s'assurer de la réfrangibilité de l'extrême rayon invisible qui possédait la propriété de donner de la chaleur; mais il trouva que cela était impraticable et il se contenta d'avoir calculé que même à un point éloigné de 1 pouce 1/2 (38 millimètres) de l'extrémité rouge, les rayons invisibles avaient une chaleur considérable quand même le thermomètre était à 52 pouces (1321 millimètres) du prisme.

Ces résultats furent confirmés par sir Henry Englefield, qui obtint les mesures suivantes :

Couleurs.	Température.
Bleu.	56°
Vert.	58
Jaune.	62
Rouge.	72
Au-delà du rouge.	79

Lorsque le thermomètre placé hors du rouge, était replacé dedans, il retombait à 72.°

M. Bérard obtint des résultats analogues, mais il trouva que le maximum de chaleur était à l'extrémité même des rayons rouges, l'orsqu'ils cou-

vraient entièrement la boule du thermomètre, et qu'au-delà du rouge la chaleur n'était que d'un cinquième au-dessus de celle de l'air ambiant.

Sir Hymphry Davy attribua les résultats de M. Bérard à ce qu'il s'était servi de thermomètres trop grands et à boules circulaires, et il répéta cette expérience en Italie et à Genève avec des thermomètres très-minces, et seulement d'un 1/12 de pouce (2 millimètres) de diamètre, avec des boules très-longues, remplies d'air retenu par un fluide coloré. Le résultat de ses expériences confirma ceux du docteur Herschel (1) :

M. Seebeck, qui a plus récemment étudié ce sujet, a prouvé que la position du maximum de chaleur du spectre varie suivant la substance du prisme. Voici ses résultats :

Substance du Prisme.	Espace coloré où se trouve le maximum de chaleur
Eau.	Jaune.
Alcohol.	Jaune.
Huile de térébenthine. . . .	Jaune.
Acide sulfurique concentré. .	Orangé.
Solution de sel ammoniac. . .	Orangé.
—— de sublimé corrosif. . .	Orangé.
Crown-glass.	Milieu du rouge.
Verre blanc.	Milieu du rouge.
Flint-glass.	Au-delà du rouge.

(1) Voyez l'*Encyclopédie d'Edimbourg*, vol. X, page 69 où ils furent publiés comme sir Hymphry me les communiqua

Les observations sur l'alcohol et l'huile de térébenthine furent faites par M. Wunsch.

DE L'INFLUENCE CHIMIQUE DU SPECTRE.

(72.) Il y a long-temps, le célèbre Scheele remarqua que le *muriate* (*hydrochlorate*) *d'argent* était noirci par le *violet* beaucoup plus que par toute autre couleur du spectre. En 1801, M. Ritter de Jéna, en répétant les expériences du docteur Herschel, trouva que le muriate d'argent devenait en très-peu de temps noir, *hors de l'extrémité violette* du spectre. Il noircissait moins dans le violet, encore moins dans le *bleu*, et noircissait de moins en moins jusqu'à l'extrémité rouge. Lorsqu'on prenait du muriate d'argent un peu noirci, sa couleur lui était presque rendue lorsqu'il était dans le rouge, et encore plus dans les rayons invisibles hors du rouge. Il en conclut que dans le spectre solaire, il y avait deux sortes de rayons invisibles, un du côté du rouge, qui favorise l'oxigénation, l'autre du côté du violet, qui favorise la désoxigénation. M. Ritter trouva aussi que le phosphore exhalait des fumées blanches dans le rouge invisible, et que dans le violet invisible, le phosphore dans un état d'oxigénation était éteint à l'instant.

En répétant l'expérience avec du muriate d'argent, M. Seebeck trouva que sa couleur variait suivant l'espace coloré où il se trouvait. En dedans et en dehors du *violet*, il était *brun rougeâtre*; dans

de la lumière violett
continuant ses expé
effets chimiques de la
Ayant fait dissoudre u
l'alcohol, et lavé une ca
aux différens rayons
marqua aucun changer
lentille de 7 pouces (17
et en ayant couvert la
à ne laisser qu'un anneau
limètres) à sa circonférer
rayons de chaque couleu
ce focale étant de près d
limètres) pour le jaune.
gaïac fut mise en petits m
dans les différens rayons
Dans le *violet* et le *bleu*, il
verte. Dans l

rayons rouges la faisaient aussitôt passer du vert au jaune. Le docteur Wollaston trouva aussi que le dos d'une cuiller d'argent chauffée, détruisait la couleur verte aussi bien que les rayons rouges.

DE L'INFLUENCE MAGNÉTIQUE DES RAYONS SOLAIRES.

(73.) Il y a plus de 20 ans, le docteur Morichini annonça que les rayons violets du spectre solaire avaient le pouvoir de magnétiser des aiguilles d'acier, entièrement privées de magnétisme. Il produisait cet effet en rassemblant les rayons violets dans le foyer d'une lentille convexe, et portant le foyer de ces rayons du milieu de la moitié de l'aiguille aux deux extrémités de cette moitié, sans toucher à l'autre moitié. Après avoir continué cette opération pendant une heure, l'aiguille avait une polarité parfaite. MM. Carpa et Ridolfi répétèrent cette expérience avec plein succès, et le docteur Morichini magnétisa plusieurs aiguilles, en présence de sir H. Davy, du professeur Playfair, et d'autres savans anglais. MM. Bérard, à Montpellier, Dhombre-Firmas, à Alais, et le professeur Configliachi, à Pavie, n'ayant pu produire ces résultats, on douta un peu de ceux des recherches précédentes.

Il y a quelques années, l'expérience du docteur Morichini fut remise en évidence par quelques expériences ingénieuses de M. Somerville. Ayant couvert de papier la moitié d'une aiguille à coudre, de près d'un pouce (25 millimètres) de longueur, et privée de magnétisme, il exposa l'autre moitié

exposée aux r
rouges, ou au-delà du rouge, elle
cun magnétisme quoiqu'elle y fût exp
dant trois jours. Des morceaux de
dule et de montre donnaient des
bles, et lorsque les rayons violets ét
avec une lentille, les aiguilles et le
magnétisés plus vite. Il produisit le
posant les aiguilles à demi-couver
rayons du soleil au travers d'un ver
avec du cobalt. Le verre *vert* pr
effet. La lumière du soleil transm
ruban bleu ou vert produisait le
travers d'un verre coloré. Lorsqu
couvertes, étaient restées pendant
du soleil, derrière un carreau
exposés étaient les pôles du nor

En répétant l'expérience de
Baumgartner, de Vienne, décou
dont quelques parties étaient p
sans lustre, devenait mag

cier. Il obtint ainsi 8 pôles sur un fil de 8 pouces (203 millimètres). Il ne pouvait magnétiser des aiguilles parfaitement oxidées, parfaitement polies, ou ayant des lignes polies dans leur longueur.

Vers le même temps, M. Christie de Woolwich trouva que lorsqu'une aiguille aimantée ou une aiguille de cuivre ou de verre, vibrait par la force de torsion à la lumière blanche du soleil, l'arc de vibration diminuait plus promptement au soleil que dans l'ombre. L'effet était plus grand sur l'aiguille aimantée. Il en conclut que les rayons solaires possèdent une influence magnétique très-sensible.

Ces résultats ont été pleinement confirmés par les expériences de MM. Barlocci et Zantedeschi. Le professeur Barlocci trouva qu'un aimant armé naturel, qui pouvait porter une livre romaine et demie (o k., 495), avait presque doublé de force par une exposition de vingt-quatre heures à la forte lumière du soleil. M. Zantedeschi trouva qu'un fer à cheval aimanté, qui portait 13 onces 1/2 (o k., 376), portait 3 fois et demie plus par une exposition de trois jours, et portait enfin 31 onces (o k., 8525), en restant à la lumière. Il trouva que pendant que la force augmentait sur les aimans oxidés, elle diminuait dans ceux qui ne l'étaient pas, la diminution étant insensible lorsque l'aimant était très-poli. Il concentra alors les rayons solaires sur l'aimant au moyen d'une lentille, et trouva que les aimans oxidés et polis *acquéraient* de la force lorsque leur pôle du nord était exposé aux rayons solaires, et

en perdaient lorsque leur pôle du sud y était exposé. Il trouva aussi que l'augmentation dans le premier cas surpassait la diminution dans le second. M. Zantedeschi répéta les expériences de M. Christie sur les aiguilles vibrant à la lumière du soleil, et trouva qu'en exposant le pôle du nord d'une aiguille longue d'un pied (305 millimètres), la demi-amplitude de la dernière oscillation était moindre de 60° que la première, et qu'en exposant le pôle du sud, la dernière oscillation devenait plus grande que la première. M. Zantedeschi avoue qu'il a souvent rencontré des anomalies inexprimables dans ces expériences (1).

Quoique ces résultats semblent décisifs en faveur de la force magnétique de la lumière blanche et violette, une série d'expériences qui paraissent très-bien faites, ont été dernièrement publiées par MM. Riess et Moser (2) et ont jeté quelque doute sur les observations des savans que nous venons de citer. Dans ces expériences, ils déterminèrent le nombre d'oscillations faites dans un temps donné, *avant* et *après* avoir soumis l'aiguille à l'influence des rayons violets. Un foyer de lumière violette concentrée par une lentille de 1 pouce 2, (30 millimètres) de diamètre et de 2 pouces 3, (58 millimètres) de longueur focale, traversa 200 fois la moitié de l'aiguille, et quoique cette expérience fût répétée avec

(1) Journal des Sciences d'Edimbourg, nouvelle série, N° V, page 76.
(2) *Idem*, N° IV, page 225.

ntes aiguilles, en différentes saisons de l'an-
t à différentes heures du jour, la durée d'un
re donné d'oscillations était presqu'exacte-
la même après qu'avant l'expérience. Leurs
pour vérifier les résultats de Baumgartner
également infructueux, ils se crurent forcés de
totalement une découverte qui, pendant dix-
ns, a différentes fois troublé la science. Les pe-
ariations, observent-ils, qui se trouvent dans
ies-unes de nos expériences, ne peuvent être
tion réelle de la nature de celle qui fut obser-
r MM. Morichini, Baumgartner, etc., d'une
re si claire et si décidée.

CHAPITRE XI.

le l'inflexion ou diffraction de la lumière.

.) Après avoir décrit les changemens que la
e éprouve lorsqu'elle est réfractée par les
es des corps tranparens, et ses propriétés
'elle est ainsi décomposée en ses élémens,
llons considérer les phénomènes qu'elle offre
'elle passe près des bords des corps. Cette
ne d'optique s'appelle *inflexion* ou *diffraction*
lumière.

te curieuse propriété de la lumière fut d'abord
e par Grimaldi, en 1665, puis par Newton;
'est à feu M. Fresnel que nous devons une

[illegible] complète et plus heure[illegible]
[illegible].

Pour observer l'action des corps [illegible] auprès d'eux, fixez une lenti[illegible] (fig. [illegible]), dans le volet [illegible], et soit [illegible] un rayo[illegible] du soleil transmis au travers de l[illegible] lumière sera rassemblée en un foye[illegible] divergera dans les directions FC, [illegible] espace circulaire lumineux sur le [illegible] un petit trou de près d'un [illegible] de [illegible] mètres [illegible] de diamètre, eût été [illegible] au lieu de la lentille, on aurait p[illegible] même masse divergente de lumière [illegible] tous les corps quelconques présenta[illegible] seront entourées de trois franges [illegible] vantes, à partir de l'ombre.

Première frange. Violet, indigo, [illegible] jaune, rouge.

Seconde frange. Bleu, jaune, r[illegible]

Troisième frange. Bleu pâle, jaun[illegible]

Pour examiner ces franges, on pe[illegible] une surface blanche et unie, comm[illegible] en adoptant le procédé de Fresnel, [illegible] avec un verre grossissant, comme s[illegible] une image formée par une lentil[illegible] méthode est décidément la meilleu[illegible] met à l'observateur de mesurer les [illegible] les changemens qu'elles éprouvent [illegible]

[illegible]

n corps placé à une distance B F du
ez son ombre sur un écran C D placé
ıce fixe du corps B, et vous observerez
ènes suivans :

le que soit la nature du corps B, quant à
ı à sa force réfractive, que ce soit du pla-
a moëlle de roseau, du tabasheer ou du
: plomb, les franges qui entoureront son
nt même couleur et même grandeur,
ırs seront les mêmes que ci-dessus.

lumière R L est une lumière homogène
tes couleurs du spectre, les franges se-
nême couleur que la lumière R L; elles
larges pour la lumière *rouge*, plus petites
ette, et de grandeurs intermédiaires pour
intermédiaires.

ɔps B restant fixe, approchons-en l'é-
u la lentille qui nous sert à voir les
ı de les voir à différentes distances der-
trouvera qu'elles deviennent de moins
'andes à mesure qu'elles approchent du
où elles naissent. Mais, si l'on mesure
ı d'une frange quelconque à l'ombre, à
distances derriere B, on verra que la
nt le même point de la frange n'est pas
:oite, mais une hyperbole dont le som-
bord du corps, de sorte que la même
les distances quelconques du corps, ne
a même frange, mais ressemble à une
ıique formée par l'intersection de divers

maintenant à *b* beaucoup p...
l'écran CD en *cd*, de telle sorte
BG. Dans cette nouvelle position
changé que la distance de F, le
teront beaucoup de largeur, leurs
entre elles et le bord de l'ombre
l'influence de distances du point
grandeur des franges ou la qu
se verra dans les résultats suiva
Fresnel :

Distance du corps B derrière le point rayonnant F.	Distance BG ou derrière le c B ou *b*, ou flexion fut m rée.
F*b* 4 102 millim.	990 millim.
FB 6096.	990. . . .

Si l'on considère que les fr
des dans la lumière rouge,

vues à la lumière blanche. Ainsi nous comprenons pourquoi la couleur de la première frange est violette près de l'ombre, et rouge à une plus grande distance, et pourquoi le mélange des couleurs hors de la troisième frange, forme la lumière blanche au lieu de teintes séparées.

En mesurant avec grand soin les largeurs proportionnelles des franges, Newton trouva qu'elles étaient comme les nombres 1 $\sqrt{\frac{1}{3}}$ $\sqrt{\frac{1}{5}}$ $\sqrt{\frac{1}{7}}$, et leurs intervalles dans la même proportion. Outre les franges extérieures qui entourent tous les corps, Grimaldi découvrit, dans les ombres des corps longs et étroits, une foule de raies ou franges parallèles, alternativement lumineuses et sombres. Plus le corps se rétrécissait, plus leur nombre diminuait, et le docteur Young remarqua que la ligne centrale était toujours blanche, et qu'ainsi il y a toujours un nombre impair de raies blanches, et un nombre pair de raies noires. A l'extrémité angulaire des corps, ces franges s'élargissent et deviennnent convexes à la ligne blanche centrale, et lorsqu'elles se terminent rectangulairement, elles forment ce qu'on appelle les franges à crête de Grimaldi.

Les phénomènes qu'on produit en substituant des ouvertures de diverses formes à la place du corps B, sont très-intéressans. Si l'ouverture est circulaire, comme celle qu'on forme avec une petite épingle dans un morceau de plomb, et lorsqu'on place une lentille derrière, de manière à voir l'om-

bre à différentes distances, on verra l'ouverture entourée d'anneaux qui se contractent, se dilatent, et changent de teintes de la manière la plus agréable. Lorsque l'ouverture est d'un tiers de pouce (8 millim,, 46), sa distance FB du point lumineux, de 6 pieds 6 pouces (1981 millimètres), et sa distance BG du foyer de la lentille, de 24 pouces (610 millimètres), on observera les séries suivantes d'anneàux :

1re. Série. Blanc, jaune, orangé, rouge sombre.

2me. Violet, bleu, blanchâtre, jaune, verdâtre, janne, orangé brillant.

3me. Pourpre, bleu indigo, bleu-verdâtre, vert brillant, jaune vert, rouge.

4me. Vert bleuâtre, blanc bleuâtre, rouge faible.

5me. Vert très-faible, rouge très-faible.

6me. Traces de vert et de rouge.

Lorsqu'on approche l'ouverture B de la lentille, dont on suppose que le foyer est à G, la tache blanche centrale devient de plus en plus petite jusqu'a sa disparution totale, les anneaux la joignant graduellement, et le centre prenant successivement les teintes les plus brillantes. M. Herschel observa les teintes suivantes, la distance du point rayonnant F au foyer G de la lentille restant toujours la même, et l'ouverture qu'on suppose être à B, approchant graduellement de G.

DISTANCE DE L'OUVERTURE B à la lentille.		COULEUR DE LA TACHE centrale.	COULEUR DES ANNEAUX QUI ENTOURENT LA TACHE CENTRALE.
pouces.	millimèt.		
24,	(610)	Blanc.	Anneaux décrits ci-dessus.
18,	(457)	Blanc.	Les deux premiers anneaux troubles. Rouge du 3me ordre, et vert du 4me brillans.
13, 5	(330)	Jaune.	Anneaux intérieurs faibles. Rouge et vert des anneaux extérieurs, vifs.
10,	(254)	Orangé foncé.	Tous les anneaux très-faibles.
9,25	(235)	Orangé rouge foncé.	Tous les anneaux tres-faibles.
9,10	(231)	Rouge de sang brillant	Tous les anneaux très-faibles.
8,75	(222)	Cramoisi foncé.	Tous les anneaux très-faibles.
8,36	(212)	Poupre foncé.	Tous les anneaux très-faibles.
8,	(203)	Violet très-sombre.	Anneau large et jaune.
7,75	(197)	Bleu indigo intense.	Anneau d'un jaune pâle.

DISTANCE des verres [illegible] à la lentille	[illegible]	[illegible]
pouces. millimèt.		
7,000 ([illegible])	Bleu peu foncé	[illegible]
6,83 ([illegible])	Bleu de ciel	Orangé [illegible]
6,000 ([illegible])	Blanc bleuâtre	Orangé rouge [illegible]
5,83 ([illegible])	Bleu très pâle	Anneau coloré [illegible]
5,50 ([illegible])	Blanc verdâtre	Pourpre et jaune rouge
5,000 ([illegible])	Jaune	Bleu orangé
4,75 ([illegible])	Jaune orangé	Bleu brillant, rouge orangé, jaune pâle, bleu
4,50 ([illegible])	Écarlate	Jaune pâle, violet, jaune pâle, blanc
4,000 ([illegible])	Rouge	Blanc, indigo, orangé sale, blanc
3,83 ([illegible])	Bleu	Blanc jaune, bleu, rouge sale
3,50 ([illegible])	Bleu foncé	Orangé, bleu clair, violet, orangé sale.

Lorsqu'on se sert de *deux* petites ouvertures au lieu d'une, et qu'on examine les anneaux avec la lentille, on voit deux systèmes d'anneaux, un autour de chaque centre; mais outre les anneaux, il y a un autre système de franges, qui, lorsque les ouvertures sont égales, sont des franges parallèles en ligne droite, équidistantes des deux centres, et perpendiculaires à la ligne qui joint les centres. Deux autres systèmes de franges parallèles et rectilignes divergent en croix de saint André d'un point à égale distance des deux centres, et formant des anneaux égaux entre le premier système de franges parallèles. Si les ouvertures sont inégales, les deux systèmes d'anneaux sont inégaux, et le premier système de franges parallèles se compose d'hyperboles concaves du côté du plus petit système d'anneaux, et ayant l'ouverture dirigée du côté du foyer commun (1).

Les plus belles expériences sur ce sujet sont celles de Fraunhofer, mais leur description détaillée demanderait plus de place que nous ne pouvons lui en donner dans ce Manuel (2).

---

(1) *Traité d'Herschel, sur la Lumière*, § 735.

(2) Voyez l'*Encyclopédie d'Edimbourg*, art. Optique, vol. XV, pag. 556.

CHAPITRE XIII.

Des couleurs des plaques minces.

(78.) Lorsque la lumière est réfléchie par les surfaces des corps transparens, ou transmises au travers de plusieurs de leurs parties à surfaces parallèles, elle est invariablement *blanche*, quelle que soit l'épaisseur des corps que nous avons l'habitude de voir. Les plus minces feuilles de verre soufflé, ou de mica, qu'on puisse trouver, réfléchissent et transmettent la lumière blanche. Cependant, en diminuant à un certain degré l'épaisseur de ces deux corps, nous trouvons qu'au lieu de donner de la lumière blanche par la réflexion et la transmission, la lumière est colorée dans les deux cas.

M. Boyle semble avoir observé le premier que, de minces bulles des huiles essentielles, d'esprit-de-vin, de térébenthine et de savon et d'eau, ressortaient des couleurs agréables; et il souffla du verre assez mince pour obtenir les mêmes teintes. Lord Brereton avait observé les couleurs des minces couches oxidées que l'action du temps produisait sur le verre, et le docteur Hooke obtint des couches si également minces, que, dans toute leur surface, elles avaient la même couleur brillante. On peut produire de semblables couches de mica sur les bords des plaques détachées subitement d'une masse, mais on peut les obtenir plus vite en collant un morceau de mica

la cire à cacheter et l'ôtant par un effort sou-
il restera, sur la cire, des morceaux extrême-
minces qui donneront les plus belles couleurs
ı lumière réfléchie. Si l'on pouvait avoir une
e de mica qui n'eût que le dixième de l'épais-
e celle qui produit une belle couleur bleue,
ouche ne réfléchirait aucune lumière, et serait
si elle réfléchissait un corps noir. Mais quoi-
n'ait jamais obtenu une telle couche, et qu'il
obable qu'on ne pourra l'obtenir par aucun
ı connu, le hasard produisit des fibres solides
minces et incapables de réfléchir la lumière. Ce
s-remarquable arriva dans un cristal de quartz
leur de fumée, qui était brisé en deux. Les
urfaces du fragment étaient entièrement noires,
e couleur, au premier abord, paraissait due à
uche épaisse de matière opaque qui se serait in-
dans la fente. Cette opinion cependant n'était
ntenable, car toute la surface était noire, et les
noitiés des cristaux n'eussent pu tenir ensemble,
ente s'était étendue dans toute la section. En
nant avec soin ce cristal, je trouvai que la surface
parfaitement transparente par la lumière trans-
et que la couleur noire des surfaces venait de
elles étaient entièrement composées d'un beau
de quartz ou de filamens courts et minces dont
nètre était si petit qu'il était incapable de
ur un seul rayon de la lumière la plus forte, et
après des principes que nous allons expliquer,
pouvait excéder le tiers d'un millionième de

pouce (o mill., 00000089). Ce cristal curieux est dans le cabinet de son altesse la duchesse de Gordon (1). J'en possède un autre petit, et je ne doute pas qu'on ne trouve encore des fractures de quartz et d'autres minéraux qui aient un beau duvet de différentes couleurs, d'après leur taille.

Les couleurs ainsi produites par le peu d'épaisseur, et appelées par conséquent les *couleurs des plaques minces*, se montrent mieux dans les corps fluides d'une nature visqueuse. Si l'on fait une bulle de savon, et qu'on la place sous un verre pour la garantir des courans d'air, on verra, lorsqu'elle est devenue un peu mince, après être restée tranquille, beaucoup d'anneaux concentriques colorés à son sommet: la couleur du centre des anneaux varie suivant l'épaisseur; mais à mesure que la bulle s'amincit, les anneaux se dilatent, la tache centrale devient blanche, puis bleuâtre, puis noire, et alors la bulle crève, à cause de sa ténuité extrême à la place de la tache noire. On peut voir le même changement de couleur suivant l'épaisseur, en plaçant une couche épaisse d'un fluide capable de s'évaporer sur un verre bien propre, et examinant les effets de la diminution d'épaisseur pendant l'évaporation.

Le moyen dont se servit sir Isaac Newton, pour produire une mince couche d'air, dont il voulait examiner la couleur, est expliqué dans la fig. 57,

---

(1) Voyez *Journal des Sciences d'Edimbourg*, N° I, p. 108.

ou LL est une lentille plano-convexe, dont le rayon de la surface convexe est de 14 pieds (4267 millimètres), et *ll* une lentille double convexe, dont chaque surface convexe a un rayon de 50 pieds (15240 millimètres). Le côté plane de la lentille LL fut plaçé en bas et de manière à reposer sur une des surfaces de la lentille *ll*. Il est clair que les deux lentilles se touchent à leur milieu, et si l'on presse doucement la supérieure sur l'inférieure, on verra autour du point de contact un système d'anneaux colorés et circulaires, s'étendant à mesure qu'on augmente la pression. Pour examiner ces anneaux sous différens degrés de pression, et lorsque les lentiles LL, *ll* sont à différentes distances, il faut se servir de trois paires de vis, *p*, *p*, *p* comme dans la figure 58, pour produire une pression égale, au point de contact, en les tournant.

Lorsqu'on regarde ces anneaux au travers de la lentille supérieure, de manière à voir ceux qui sont formés par la lumière *réfléchie* par la couche d'air placée entre les lentilles, on peut voir *sept* anneaux ou plutôt sept spectres circulaires, ou ordres de couleurs, décrits par Newton dans les deux premières colonnes de la table suivante, les couleurs étant très-distinctes dans les trois premiers, mais s'affaiblissant de plus en plus dans les autres, jusqu'à leur extinction presque totale dans le 7e spectre.

Lorsqu'on voit la couche d'air en regardant de dessus au travers de la leutille inférieure *ll*, on observe un autre système d'anneaux ou spectres qui



couleur réfléchie, ou bien te

elle formerait la lumière bla

se forment dans la lumière transmise. On ne voit distinctement que cinq de ces anneaux, transmis; et leurs couleurs, telles que Newton les observa, sont données dans la troisième colonne de la table suivante, mais elles sont beaucoup plus faibles que celles vues par la réflexion. En comparant les couleurs réfléchies aux couleurs transmises, on observera que la couleur transmise est toujours complémentaire de la couleur réfléchie, ou bien telle que mêlée à celle-ci, elle formerait la lumière blanche.

1er.	Bleu. . . . . .
	Blanc. . . . . .
	Jaune. . . . . .
	Orangé. . . . .
	Rouge. . . . . .
2e.	Violet. . . . . .
	Indigo. . . . . .
	Bleu. . . . . .
	Vert. . . . . .
	Jaune. . . . . .
	Orangé . . . . .
	Rouge brillant. .
	Ecarlate. . . . .
3e.	Pourpre . . . . .
	Indigo. . . . . .
	Bleu. . . . . .
	Vert. , ...
	Jaune. . . . . .
	Rouge. . . . . .
	Rouge-bleuâtre. .
4e.	Vert - bleuâtre. .
	Vert. . . . . .
	Vert - jaunàtre. .
	Rouge. . . . . .

INCES D'AIR, D'EAU ET DE VERRE.

PAISSEURS EN MILLIONIÈMES DE POUCE.—0,0000253.

AIR.		EAU.		VERRE.	
ouces.	millimètres.	pouces.	millimètres.	pouces.	millimètres.
1/2	(0,0000126)	3/8	(0,0000095)	1/31	(0,0000008)
1	(0,0000253)	3/4	(0,0000295)	20/31	(0,0000016)
2	(0,0000506)	1,1/2	(0,0000479)	1,12/7	(0,0000325)
2,2/5	(0,0000607)	1,4/5	(0,0000393)	1,11/20	(0,0000385)
5,1/4	(0,0001337)	3,7/8	(0,0000986)	3, 1/5	(0,0001038)
7,1/9	(0,0001806)	5,1/3	(0,0001349)	4, 3/5	(0,0001174)
8	(0,0002024)	6	(0,0001518)	5, 1/6	(0,0001307)
9	(0,0002277)	6,3/4	(0,0001581)	5, 4/5	(0,0001466)
11,1/6	)0,0003406)	8,3/8	)0,0002055)	7, 1/5	(0,0001721)
12,5/6	(0,0003659)	9,9/8	(0,0002252)	8, 2/4	(0,0002048)
14	(0,0003842)	10,1/2	(0,0002656)	9, 5/7	(0,0002247)
15,1/8	(0,0004026)	11,1/3	(0,0002867)	10, 2/5	(0,0002631)
16(2/7	(0,0004116)	12,1/5	(0,0003096)	11, 1/9	(0,0002911)
17,2/9	(0,0004357)	13	(0,0003289)	11, 5/6	(0,0002996)
18,1/5	(0,0004604)	13,3/4	(0,0003478)	12, 2/3	(0,0003214)
9,2/3	(0,0005075)	14,3/4	(0,0003789)	13,11/20	(0,0003421)
1	(0,0005213)	15,3/4	(0,0004184)	14, 1/4	(0,0003731)
,1/10	(0,0005566)	16,4/7	(0,0004260)	15, 1/10	(0,0004020)
,2/5	(0,0006019)	17,11/20	(0,0004489)	16, 1/4	(0,0004186)
,1/5	(0,0006475)	18,9/10	(0,0004829)	17, 1/2	(0,0004483)
,1/7	(0,0006967)	20,1/3	(0,0005144)	18, 5/7	(0,0004784)
	(0,0007337)	21,3/4	(0,0005402)	20, 2/3	(0,0005258)
	(0,0008206)	24	(0,0006072)	22	(0,0005576)
,	(0,0008602)	25,1/2	(0,0006551)	22, 3/4	(0,0005765)
,2/7	(0,0006704)	26,1/2	(0,0006704)	23, 2/9	(0,0005845)
	(0,0009108)	27,	(0,0006831)	23, 2/9	(0,0005875)
,1/3	(0,0010204)	30,1/2	(0,0007822)	26,	(0,0006678)
	(00011638)	34,1/2	(0,0008754)	29, 2/3	(0,0007596)
,1/2	(0,0013282)	39,3/8	(0,0009852)	34,	(0,0008628)
,3/4	(0,0014863)	44	(0,011132)	38,	(0,0009514)
	(0,0016445)	48,3/4	(0,0011333)	42,	(0,0009826)
	(0,0017963)	53,14/	(0,00013482)	45, 4/5	(0,0010587)
	(0,0019481)	57,3/4	(0,00014610)	49, 2/3	(0,0011457)

Les couleurs précédentes se voient lorsque la lumière est réfléchie et transmise presque perpendiculairement; mais sir Isaac Newton trouva que lorsque la lumière est réfléchie et transmise obliquement, les anneaux augmentaient de grandeur, la même couleur demandant plus d'épaisseur pour la produire. Ainsi, la couleur d'une couche, descend plus près du commencement ou de la fin de l'échelle, lorsqu'on la voit obliquement.

Tels sont les phénomènes généraux des anneaux colorés vus à la lumière *blanche*. Lorsqu'on place les lentilles dans de la lumière homogène, ou qu'on fait passer tour-à-tour sur les lentilles les différentes couleurs du spectre solaire, les anneaux, qui sont toujours de la même couleur que la lumière, sont à leur plus grande largeur dans le rouge, et se contractent graduellement dans les autres couleurs, jusqu'à ce qu'ils atteignent leur plus petite dimension dans le violet. En mesurant leurs diamètres, Newton trouva que les couleurs différentes avaient les rapports suivans entre elles :

Rouge extrême.	1,
Orangé.	0, 924
Jaune.	0, 885.
Vert.	0, 825.
Bleu.	3, 763.
Indigo..	0, 711
Violet.	0, 681.
Extrême.	0, 630.

Puisque la lumière blanche se compose de toutes les couleurs précédentes, les anneaux qu'on voit dans cette lumière se composent des sept systèmes d'anneaux de différentes couleurs, pour ainsi dire superposées, et formant par leur union les différentes couleurs de la table. Pour l'expliquer, nous avons construit le dessin (fig. 59), en supposant que chaque anneau ou spectre a la même largeur dans la lumière homogène que lorsqu'il est formé entre des surfaces presque plates, ou lorsque l'épaisseur de la plaque varie avec la distance du point de contact (1). Supposons maintenant que nous formions un semblable système d'anneaux avec les sept couleurs du spectre, qu'on ôte un secteur de chaque système, et qu'on le place comme dans la figure autour du même centre C. Soit 50° l'angle du secteur rouge, celui de l'orangé 30°, du jaune 40°, du vert 60°, du bleu 60°, de l'indigo 40°, et du violet 80°, formant en tout 360 degrés pour compléter le cercle. A partir du centre C, faites les premiers, seconds et troisièmes anneaux dans chaque secteur, avec des rayons correspondans aux valeurs de la petite table précédente. Ainsi, puisque les diamètres proportionnels du rouge extrême et de l'orangé extrême sont 1 et 0,924, le milieu du rouge sera le nombre intermédiaire entre ces deux nombres, ou 0,962, et par conséquent le diamètre proportion-

(1) On fait cette supposition pour simplifier le dessin.

tiplia ce nombre par la progression 1, 3, 5, 7, 9, etc., et 2, 4, 6, 8, 10, et obtint les résultats suivans :

	Epaisseur de l'air à la partie la plus lumineuse	Epaisseur de l'air à la partie la plus obscure.
1er anneau.	$\frac{1}{178000}$ (0,00014)	$\frac{2}{178000}$ (0,00028)
2e anneau.	$\frac{3}{178000}$ (0,00042)	$\frac{4}{178000}$ (0,00056)
3e anneau.	$\frac{5}{178000}$ (0,00070)	$\frac{6}{178000}$ (0,00084)
4e anneau.	$\frac{7}{178000}$ (0,00098)	$\frac{8}{178000}$ (0,00112)

Lorsque Newton plaçait de l'eau entre les lentilles, les couleurs devenaient plus faibles, et les anneaux plus petits; et en mesurant les épaisseurs de l'eau qui produisaient les mêmes anneaux, il trouva qu'elles étaient entre elles comme la mesure de réfraction de l'air est à la mesure de réfraction de l'eau, ou presque comme 1 à 1,336. Ces données lui permirent de calculer les trois dernières colonnes de la table donnée page 135, qui font voir en millionièmes de pouces les épaisseurs auxquelles les couleurs sont produites dans les couches d'air, d'eau et de verre. Ces colonnes sont d'un grand usage, et on peut les regarder comme [illegible]romètre pour mesurer les épaisseurs peu con[illegible]s des corps transparens par leurs couleurs,

est impossible de se servir d'autres moyens.
avons déjà vu que lorsque l'épaisseur de la
l'air est près des 12/178,000 d'un pouce
58 millimètres) qui correspond au sep-
ineau, les couleurs cessent de devenir vi-
e qui est dû à la réunion de toutes les cou-
arées, réunion qui forme la lumière blanche;
squ'on voit ces anneaux dans la lumière
ie, ils paraissent beaucoup plus nombreux,
nneaux sombres et colorés se succèdent à
ance considérable du point de contact. Ce-
, lorsque les anneaux sont formés entre
iettes, l'épaisseur de la couche d'air s'accroît
t que les anneaux extérieurs s'élèvent l'un
re, et cessent, par cette raison, de devenir
Certainement, cet effet ne serait pas pro-
es couleurs étaient formées par une couche
ont l'épaisseur variât par de lentes grada-
ir ce principe, M. Talbot a donné une très-
éthode de faire voir ces anneaux avec des
de verre et d'autres substances même d'une
r appréciable. Si l'on souffle une bulle de
sez mince pour qu'elle casse (1), et que l'on
in des morceaux à la lumière d'une lampe
de-vin à mèche salée, ou d'une des lampes
romatiques que j'ai décrites, et qui toutes
une lumière jaune, pure et homogène, on
surface de ces couches couvertes de franges

(1) couches de mica valent encore mieux.

alternativement jaunes et noires, chaque frange marquant par ses détours les lignes d'épaisseurs égales dans les couches de verre. Lorsque l'épaisseur varie doucement, les franges sont larges et faciles à distinguer; mais lorsqu'elle varie rapidement, les franges sont tellement amoncelées qu'il faut un microscope pour les distinguer. Si l'on suppose qu'une des couches de verre n'ait qu'un millième de pouce, les anneaux qu'elle fait voir appartiennent au 19ᵉ ordre; et si l'on pouvait avoir un large morceau de ce verre dont l'épaisseur descendît jusqu'à un millionième de pouce par de lentes gradations, ces 89 anneaux, et probablement plusieurs autres, seraient distinctement visibles à l'œil nu. Pour produire de tels effets, il faudrait que la lumière fût parfaitement homogène.

Les anneaux vus entre les deux lentilles sont visibles dans l'air et dans tout autre gaz, et même lorsqu'il n'y a pas de gaz; car l'on voit ces anneaux dans le réservoir épuisé d'une pompe pneumatique.

CHAPITRE XIII.

Des couleurs des plaques épaisses.

(76.) Les couleurs des plaques épaisses furent d'abord observées et décrites par sir Isaac Newton, comme produites par les miroirs concaves de verre. En admettant (fig. 60) un rayon de lumière solaire R dans une chambre sombre, au travers d'une ouverture d'un quart de pouce (6 millimètres) de diamètre

: dans un volet MN, il le fit tomber sur un mi-
de verre AB d'un quart de pouce (6 millim,)
aisseur, étamé par-derrière, dont l'axe était
s la direction Rr, et dont le rayon de courbure des
ι surfaces était égal à sa distance derrière l'ouver-
. Lorsqu'on plaçait un morceau de papier sur
olet MN avec un trou pour laisser passer les
ns du soleil, il observa que le trou était en-
é de *quatre* ou *cinq* anneaux colorés, et quel-
ois avec des traces d'un sixième et d'un sep-
ıe. Lorsque le papier était plus ou moins éloigné
entre de sa concavité, les anneaux s'étendaient
lisparaissaient graduellement. Les couleurs des
eaux se succédaient comme ceux du système
smis des plaques minces, donné dans la troi-
ıe colonne de la table de la page 135. Lors-
la lumière R était *rouge*, les anneaux étaient
ges, et ainsi de suite pour les autres cou-
s, les anneaux étant plus grands dans le *rouge*,
lus petits dans le *violet*. Leurs diamètres gar-
nt la même proportion que ceux vus entre les
ttes; les carrés des diamètres des parties les plus
ineuses (dans la lumière homogène) étant entre
comme les nombres 0, 2, 4, 6, etc., et les car-
des diamètres des parties les plus sombres comme
nombres intermédiaires 1, 3, 5, 7, etc. Avec des
oirs plus épais, les anneaux devenaient moindres,
eur diamètre variait dans la même proportion
la racine carrée de l'épaisseur du miroir. Si
ôtait l'étamage de derrière, les anneaux deve-

[illegible]

[illegible] qui était réfléchie sur un écran.

([illegible]) La méthode que j'ai trouvé[illegible]

ment. Les couleurs des plaques épaisses peuvent
re vues même avec, une chandelle ordinaire, à
distance de 10 ou 12 pieds (3047 ou 3657 mil-
mètres) d'un carreau de crown-glass dans une fe-
ître qui a un peu de fine poussière sur sa surface,
qui est légèrement humide. Dans ces cas, elles
nt très-brillantes : cependant on peut les voir, lors
ème que le carreau de vitre est propre.

On peut voir d'ailleurs les couleurs des plaques
aisses et étudier leur théorie, en prenant deux
aques de verre d'épaisseur égale. Les phénomènes
nsi produits, et que j'observai en 1817, sont d'une
ande beauté, et comme M. Herschel l'a prouvé,
nt très-propres à faire voir les lois de cette sorte
phénomènes. Pour obtenir des plaques d'une
aisseur exactement égale, je fis d'un même mor-
u de verre parallèle, deux plaques AB, CD; et
nt placé entre elles deux morceaux de cire molle,
es pressai à la distance de près d'un 10ᵉ de
e (2 mill., 539), en pressant un morceau de
plus que l'autre, je pouvais donner aux deux
es la pente que je désirais. Soient AB, CD
61) l'une et l'autre section des deux plaques
ées à angles droits à la section commune des
surfaces, et soit RS un rayon de lumière inci-
presque verticalement, et provenant d'une
lle, ou ce qui vaut mieux, d'un disque circu-
le lumière condensée sous-tendant un angle
13°. Si l'on place l'œil derrière les plaques,
oit qu'une image du disque circulaire, mais

trois centrales so...
blanchâtres, et les extérieures de band
rouge et de *vert*. Ces bandes sont tou
à la section commune des plaques incli
colorées augmentent de largeur lor
l'inclinaison des plaques, et dimi
l'augmente.

Lorsque la lumière de l'objet cir
tombe obliquement sur la première
sorte que le plan d'incidence so
avec la section des plaques, les fr
distinctement visibles au travers
des images, mais elles sont à
clarté lorsque le plan d'incider
cette section. Les images réfléch
turellement plus brillantes, et l
à mesure que l'angle d'incidence
l'angle d'incidence augmente de
... le plus grand

travers de la première image, des bandes colorées qui surpassent de beaucoup, par la pureté des contours et la richesse des couleurs, tout phénomène analogue. Lorsqu'on cachait de nouveau ces franges, on en voyait d'autres sur l'image immédiatement derrière, et formées par une troisième réflexion à l'intérieur de la première plaque.

Si l'on place la plaque CD un peu plus loin vers la droite, et qu'on fasse tomber le rayon RS d'abord sur la plaque CD, et qu'il soit ensuite réfléchi par les deux surfaces de CD sur la plaque AB, on verra les mêmes bandes colorées. On a tracé, dans la figure, la marche des rayons au travers des deux plaques.

Lorsque les deux plaques ont la forme de lentilles concaves et convexes, et sont combinées comme dans la lunette achromatique double et triple, on voit se développer une série des systèmes d'anneaux les plus splendides, et ils sont quelquefois traversés par d'autres anneaux d'une espèce différente. Je n'ai pas eu le temps de publier un rapport des observations nombreuses que j'ai faites sur cette espèce curieuse de phénomènes.

En regardant des couches de verre soufflé, dans de la lumière jaune homogène, et même dans la lumière ordinaire du jour, M. Talbot a observé que lorsque deux couches sont placées ensemble, des franges brillantes et obscures, ou des franges colorées d'une forme irrégulière, sont produites entre

autre corps lumineux au traver
verre, couverte de vapeur ou
divisée, elle est entourée d'une
coloré, comme un halo autour du
Ces anneaux augmentent suivan
particules qui les produisent, et
nombre dépendent de l'égalité
particules. De légères fibres, tell
soie et de la laine, produisent les
neaux, qui augmentent suivant le
et c'est pourquoi le docteur Youn
trument nommé *ériomètre,* pour
tres des particules et fibres menu
le diamètre d'une des séries d'an
duisent. Dans ce but, il choisit la
anneau rouge et vert pour mesur
un morceau de carte ou une plaqu

particules qu'on veut mesurer ; l'ériomètre étant placé à une grande lumière, et l'œil aidé d'une lentille, derrière le petit trou, on voit l'anneau coloré. Alors on pousse ou on tire la coulisse, jusqu'à ce que la limite de l'anneau rouge et vert coïncide avec le cercle perforé, et la mesure de l'échelle fera voir la grandeur des particules ou fibres. Le docteur Wollaston trouva que la graine du *lycoperdon bovista*, avait le 8500ᵉ d'un pouce (0, millimètres 002941) de diamètre, et comme cette substance formait des anneaux qui indiquaient 3 1/2 sur l'échelle, il s'ensuit que l'unité de cette échelle est le 29750ᵉ ou le 30000 d'un pouce (0, millimètres 00085ᵉ ou 0, millimètres 000846). La table suivante contient quelques mesures du docteur Wollaston en 30000ᵉ de pouce :

		millimètres.
Lait étendu jusqu'à être indistinct.	3,	(0,002538)
Poussière de *lycoperdon bovista*.	3,1/2	(0,002961)
Sang de taureau.	4,1/2	(0,003807)
Nielle de l'orge.	6,1/2	(0,005499)
Sang de jument.	6,1/2	(0,005499)
Sang humain étendu d'eau. .	6,	(0,005076)
Pus.	7,1/2	(0,006345)
Soie.	12,	(0,010152)
Poil de castor..	13,	(0,010998)
Poil de taupe.	16,	(0,013536)
Laine à Schalls.	19,	(0,016074)
—— de Saxe.	22,	(0,018612)

		millimètres.
Laine de lion.	25,	(0,021150)
—— d'alpacca.	26,	(0,021996)
Farine de laurestinus. . . .	26,	(0,021996)
Laine de mérinos du Ryeland.	27,	(0,022842)
——- de mérinos méridional.	28,	(0,023688)
Graine de *lycopodium*. . .	32,	(0,027072)
Laine d'une brebis méridionale.	39,	(0,032994)
—— grossière.	46,	(0,038916)
Idem prise sur de la laine tissue.	60,	(0,042300)

(79.) En observant les couleurs produites par la réflexion des fibres qui forment les lentilles crystallines des yeux des poissons et d'autres animaux, j'ai pu remonter à l'origine de ces fibres, et déterminer le nombre de pôles ou segmens, auxquels elles se rapportent. C'est par la même manière d'observer, et en mesurant la distance de l'image blanche à la première image colorée, que je pus déterminer les diamètres des fibres, et prouver qu'elles s'amincissent comme des aiguilles, diminuant graduellement de l'équateur aux pôles de la lentille, de manière à former, en s'assemblant, des superficies sphériques, en convergeant à leurs pôles ou points d'origine. Ces images colorées produites par les fibres de la lentille sont sur une ligne perpendiculaire à la direction des fibres, et en imprimant sur de la cire une lentille durcie, les couleurs sont communiquées à la cire. Dans plusieurs lentilles, j'observai des images colorées à une grande distance de l'image commune, mais dans une direction coïncidente avec

celles des fibres ; j'en conclus que les fibres étaient traversées par des jointures ou lignes, dont la distance était d'un 11000 de pouce (0, millimètres 0023), et j'ai trouvé, à l'aide de microscopes très-puissans, que chaque fibre avait, dans ce cas, des dents d'une finesse excessive, et semblables à celles d'un rateau, les couleurs étant produites par les lignes qui forment les côtés de chaque dent.

(80.) Il faut ranger dans cette classe de phénomènes les couleurs de la nacre de perle ; cette substance obtenue de la coquille de l'huitre perlière a été long-temps employée dans les arts, et l'on connait le beau jeu de ces couleurs. Pour observer ces couleurs, prenez une plaque régulière de nacre de perle, à surface presque parallèle, et broyez ces surfaces sur une molette ou une plaque de verre avec de la poudre de schiste, jusqu'a ce que l'image d'une chandelle réfléchie par ces surfaces soit d'un blanc rougeâtre sale. Si l'on place l'œil près de la plaque, et qu'on regarde cette image réfléchie, on verra d'un côté (fig. 62) une image prismatique A, brillante de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, et formant un spectre de la chandelle, aussi distinct que s'il eût été formé par un prisme équilatéral de flint-glass. Le côté bleu de cette image est près de l'image C, et la distance de la partie rouge est de 7° 22' dans un cas : mais cet angle varie, même dans le même cas. En regardant la nacre de perle, l'image A peut-être en dessus ou en dessous de C ou d'un côté quelconque, mais en tournant la nacre de perle, on peut

la faire paraître à droite ou à gauche de C. La distance AC n'est jamais plus petite que lorsque la lumière de la chandelle est presque perpendiculaire à la surface, et augmente à mesure qu'on augmente l'inclinaison du rayon incident. Dans un cas elle était de 2° 7' à une incidence presque perpendiculaire, et de 9° 14' à une incidence très-oblique.

En dehors de l'image A, on voit invariablement une masse M de lumière colorée, dont la distance MC est près du double de AC. Ces trois images sont presque toujours en ligne droite, mais la distance angulaire de M varie suivant l'angle d'incidence, et suivant une loi différente de celle de A. A de grands angles d'incidence la masse nébuleuse est d'une belle couleur cramoisie; à un angle de près de 37° elle devient verte, et plus près de la perpendiculaire, d'un blanc-jaunâtre et très-lumineuse.

Si maintenant l'on *polit* la surface de la nacre de perle, l'image ordinaire C devient plus brillante et tout-à-fait blanche, mais *une seconde image prismatique* B *paraît de l'autre côté de* C *et à quelque distance.*

Cétte seconde image a d'ailleurs à tous autres égards les mêmes propriétés que la première; son éclat augmente avec le poli de la surface, jusqu'à ce qu'elle soit presque égale à celle de A, dont le lustre s'affaiblit légèrement par le poli. Cette seconde image, n'est jamais accompagnée comme la première, d'une masse nébuleuse M, Si l'on ôte le poli, l'image

B disparait, et A reprend son éclat. Le poli augmente l'éclat de la masse nébuleuse M.

Si l'on répète ces expériences de *l'autre côté* du morceau de nacre, on observe les mêmes phénomènes : seulement les images A et M sont de l'autre côté de C.

Si l'on regarde au travers de la nacre de perle, lorsqu'elle est extrêmement mince, on observera presque les mêmes phénomènes. Les couleurs et distances des images sont les mêmes, mais on ne voit jamais la masse nébuleuse M par la transmission. Lorsque la seconde image B est invisible par la réflexion, elle est très-brillante vue par la transmission, et réciproquement.

En faisant ces expériences, j'eus l'occasion de fixer la nacre de perle à un goniomètre avec un ciment de résine et de cire d'abeilles, et en l'ôtant, je fus surpris de voir toute la surface de la cire brillant des couleurs prismatiques de la nacre de perle. Je crus d'abord qu'une légère couche de nacre de perle était restée sur la cire, mais je trouvai que je m'étais trompé, et que la nacre de perle avait réellement communiqué au ciment sa propriété de produire des spectres colorés. Lorsqu'on imprimait sur de la cire la nacre de perle non polie, la cire ne donnait qu'une image A, et lorsqu'elle était polie, la cire faisait voir les images A et B, mais j'amais la cire ne reproduisait l'image nébuleuse M. Les images vues sur la cire étaient toujours du côté de C opposé à celui ou elles étaient dans la surface imprimée dessus.

On peut bien voir, en se servant de cire noire, les couleurs que la nacre de perle communique à une surface molle, mais je les ai transmises aussi à du baume de Tolu, du réalgar, du métal fusible, et à des surfaces propres de plomb et d'étain, par une forte pression ou par un coup de marteau. Une solution de gomme arabique ou de colle à poisson, qu'on laisse durcir sur la surface de la nacre de perle, en prend une impression parfaite, et fait voir de beaux échantillons, par la réflexion ou la transmission de toutes les couleurs, qui peuvent se communiquer. En plaçant la colle entre deux surfaces bien polies de nacre de perle on obtient une couche de nacre de perle artificielle, qui, vue à une seule lumière comme celle d'une chandelle ou par une ouverture dans un volet, brille des couleurs les plus vives.

Si dans cette expérience, on pouvait rendre les facettes d'une surface de nacre de perle exactement parallèles à celles de l'autre, comme dans l'écaille, les images A et B, formées par chaque surface, coïncideraient, et l'on n'en verrait qne deux par la transmission et la réflexion; mais comme cela ne peut se faire, on voit au travers de la couche de colle, *quatre images*, et autant par la réflexion, les deux nouvelles étant formées par la réflexion à la seconde surface de la couche.

D'après ces expériences, il est clair que les couleurs dont nous nous occupons sont produites par une conformation particulière de la surface, qui, comme un cachet, peut communiquer son image

renversée à toute substance capable de la recevoir. En examinant cette surface avec des microscopes, j'observai dans presque tous les échantillons un assemblage de facettes, comme la forme délicate de la peau du bout des doigts des enfans, ou comme les sections des croissances annuelles du bois qu'on voit sur une planche taillée de sapin. On peut quelquefois les voir à l'œil nu, mais souvent elles sont si petites, qu'un pouce (25 millimètres) en contient 3000. La direction des facettes est toujours à angles droits avec la ligne MACB (*fig.* 62), et ainsi, dans de la nacre de perle irrégulière, où les facettes sont souvent circulaires, et dans toutes les directions, les images colorées A et B sont répandues au hasard autour de l'image commune C. Ainsi, si les facettes étaient circulaires, la série d'images prismatiques AB formerait un anneau prismatique autour de C, pourvu que les facettes en fussent à la même distance. La distance génerale des facettes est du 200e au 500e d'un pouce (0, millimètres 126 à 0, millimètres 050), et les images prismatiques s'éloignent de C à mesure que les facettes se serrent. Dans un échantillon qui en contenait 2500 dans un pouce (25 millimètres), la distance AC était de 3° 41'; dans un échantillon de 5000 par pouce, elle était de près de 7° 22'.

Les facettes sont visiblement les sections de toutes les couches concentriques de l'écaille. Lorsqu'on se sert de la surface actuelle d'une couche quelconque, on ne voit aucune des images A et B, et l'on ne voit

que la masse de lumière nébuleuse M qui est à la place de l'image principale C. Ceci nous explique pourquoi la *perle* ne donne aucune des images A et B; pourquoi elle ne communique point son image à la cire, et pourquoi elle brille de cette belle lumière blanche qui lui donne tout son prix. La perle se compose de couches concentriques et sphériques, rassemblées autour d'un noyau central, que sir Everard Home croit être un des œufs du testacée. On ne voit aucun des bords de ses couches, et comme ces couches ont des surfaces parallèles, la masse de lumière M est réfléchie exactement comme l'image C, et occupe sa place; tandis que dans la nacre de perle elle est réfléchie par des surfaces des couches inclinées vers la surface générale de l'échantillon qui réfléchit l'image C. Le mélange de toutes ces masses diffuses de lumière nébuleuse rose et verte, forme le beau blanc des perles. Dans les mauvaises perles qui sont trop bleues ou trop roses, l'une de ses couleurs a prédominé. Si l'on fait une section oblique d'une perle, de manière à faire voir un nombre suffisant de couches concentriques avec des bords assez serrés, on observe toutes les couleurs de la nacre de perle, qui puissent se communiquer (1).

On peut observer ces phénomènes dans plusieurs coquilles autre que celle de l'huître perlière, et dans tous les cas, on peut distinguer les couleurs communicables des couleurs incommunicables, en plaçant

---

Voyez *Journal des Sciences* d'Edimbourg, N° XII, p. 277.

habits, et d'autres articles d'ornemens de femme, recouverts de facettes bien arrangées en dessins, et brillans de toutes les couleurs du prisme à la lumière des lampes et des chandelles. Il leur donna le nom bien mérité d'ornemens d'Iris. Pour faire les boutons, on dessinait les modèles sur des dés d'acier, et lorsqu'ils étaient assez durs, on en imprimait l'image sur des boutons de bronze poli. Au jour on ne distingue pas bien les couleurs de ces boutons, excepté lorsque la surface réfléchit le bord d'un objet sombre, vu contre un objet éclairé; mais à la lumière du soleil, du gaz ou des chandelles, ces couleurs ne sont qu'à peine surpassées par les feux brillans du diamant.

Les facettes ainsi taillées sur de l'acier, peuvent naturellement se transférer à la cire, la colle, l'étain, le plomb et autres substances, et en faisant durcir des couches transparentes de colle à poisson entre deux de ces surfaces à facettes, couvertes de lignes dans toutes les directions, on obtient une plaque, qui, par transmission, produit l'assemblage de spectres le plus extraordinaire qu'on ait jamais vu.

(82.) En examinant les phénomènes produits par quelques-uns des plus beaux échantillons du talent de M. Barton, qu'il eut la bonté d'exécuter pour ce dessein, j'observai quelques propriétés curieuses de la lumière. Dans de la nacre de perle bien polie, l'image centrale C de la chandelle ou de l'objet lumineux est toujours blanche, ainsi qu'on devait s'y attendre, puisqu'elle est réfléchie par les surfaces plates et po-

lies qui sont entre les facettes. Dans plusieurs échantillons, l'image C est aussi parfaitement blanche par la même raison, et les spectres, au nombre de six ou huit, situés de chaque côté de C, sont de parfaites images prismatiques de la chandelle ; l'image A, qui est le plus près de C, étant la moins troublée, toutes celles qui suivent se troublant de plus en plus, comme si elles étaient formées par des prismes d'une force dispersive de plus en plus grande, ou à angles réfractifs croissans de plus en plus. Les spectres contiennent les lignes fixes et toutes les couleurs prismatiques ; mais les espaces *rouges*, ou les moins réfrangibles, sont très-*répandus*, et les violets, ou les plus réfrangibles, très-*contractés*, même plus que dans les spectres produits par l'acide sulfurique.

En examinant quelques-unes de ces images prismatiques qui semblaient défectueuses dans des rayons particuliers, je fus surpris de trouver que, dans les échantillons qui les produisaient, l'image C, réfléchie par la surface primitive et polie de l'acier, était légèrement colorée, que sa teinte variait suivant l'angle d'incidence, et avait quelque rapport avec la diminution des couleurs dans les images prismatiques. Pour observer ces phénomènes sous beaucoup d'incidence, je substituai à la chandelle une ouverture longue, étroite et rectangulaire, faite en fermant presque les volets, et je vis d'un coup-d'œil l'état de l'image ordinaire et de toutes les images prismatiques. Pour le comprendre, soit AB (fig. 64) l'image ordinaire de l'ouverture, réfléchie par la surface plate de

une couche de fluide ou de ciment entre la surface et une couche de verre. Les couleurs communicables disparaîtront, parce que les facettes se remplissent, et les incommunicables deviennent plus brillantes.

(81.) M. Herschel découvrit dans des plaques très-minces de nacre de perle deux autres images prismatiques nébuleuses, plus éloignées de C que A et B, et aussi deux autres images nébuleuses plus faibles. La ligne qui joint ces deux dernières est toujours à angles droits avec celle qui joint les deux premières (1). On voit ces images en *regardant au travers* d'une mince plaque de nacre de perle, taillée parallèle à la surface naturelle de l'écaille, et d'une épaisseur intermédiaire entre le 70ᵉ et le 300ᵉ d'un pouce (0,362285 millimètres et 0,084665 millim.). Elles sont beaucoup plus grandes que A et B, et M. Herschel trouva que la ligne qui les joignait était toujours perpendiculaire à une structure veinée qui traverse sa substance. On trouva que la distance de la partie rouge de l'image à C, était de 16° 29', et les veines qui produisaient ces couleurs étaient si petites, qu'un pouce (25 millim.) en contenait 3700.

Nous les avons représentées dans la fig. 63, comme traversant les facettes ordinaires qui donnent les couleurs communicables. M. Herschel les décrit

---

(1) Dans un échantillon que nous avons sous les yeux, la ligne qui joint les deux images nébuleuses les plus faibles est à angles droits avec celle qui joint à A et B.

laire à la première,
la structure avec le microscope. M
que la structure que produit les d
coïncide dans tous les cas avec le p
les centres des deux systèmes d'an

Le principe de la production
des surfaces à facettes et de la com
couleurs à diverses substances, par
heureusement appliqué aux art
ton, Ec^{er}. Au moyen d'une mach
rant par une vis travaillée avec le
réussit à couper sur de l'acier de
sur 10000e d'un pouce (0, millim.
00253). Ces lignes sont coupée
diamant, et telle est la perfect
lisme, et l'égalité de leurs facet
dans la nacre de perle on ne vo
matique A, de chaque côté de
de la chandelle; dans les surfa
on voit six, sept ou huit image
de spectres aussi parfait

l'acier qui est entre les facettes, et *ab*, *a'b'*, *a"b"*, etc., les images prismatiques de chaque côté de AB, chacune de ces images formant un spectre complet avec toutes ses couleurs. L'image AB était traversée dans une direction perpendiculaire à sa longueur, par de larges franges colorées, variant de teintes depuis 0° jusqu'à 90 degrés d'incidence. Dans un échantillon qui en contenait 1000 par pouce (25 millim.), on voyait distinctement les couleurs suivantes à différens angles d'incidence.

Couleurs.	Angle d'incidence.	
Blanc.	90°	0'
Jaune.	80	30
Orangé rougeâtre.	77	30
Rose.	76	20
Jonction du rose et du bleu.	75	40
Bleu brillant.	74	30
Blanchâtre.	71	0
Jaune.	64	45
Rose.	59	45
Jonction du rose et du bleu.	58	10
Bleu.	56	0
Vert-bleu.	54	30
Vert jaunâtre.	53	15
Vert blanchâtre.	51	0
Jaune blanchâtre.	49	0
Jaune.	47	15
Jaune rosé.	41	0
Rouge rosé.	36	0
Rose blanchâtre.	31	0
Vert.	24	0
Jaune.	10	0
Rougeâtre.	0	0

Ces couleurs sont celles des anneaux réfléchis dans les plaques minces. Si l'on tourne la plaque d'acier dans l'azimuth, les mêmes couleurs paraissent aux mêmes angles d'incidence, *et n'éprouvent aucun changement, soit en changeant la distance de la plaque d'acier à l'ouverture lumineuse, soit en changeant la distance de l'œil de l'observateur aux facettes.*

Dans la table précédente, il a y quatre ordres de couleurs, mais dans quelques échantillons il n'y en a que trois, dans d'autres deux, dans d'autres un, et dans quelques-uns il n'y avait qu'une ou deux teintes du premier ordre. Un échantillon de 500 facettes par pouce (25 millim.) ne donnait à toutes les incidences que le jaune du premier ordre. Un échantillon de 1000 facettes ne donnait qu'un ordre complet avec une partie du suivant. Un autre de 3333 facettes ne donnait que le jaune du premier ordre. Un échantillon d'un 1000 donnait un peu plus d'un ordre, et un autre de 10000 facettes par pouce (25 mill.) donnait aussi un peu plus d'un ordre.

Dans la fig. 64, nous avons représenté la partie du cadran d'incidence de 12° à 76°. Dans le premier spectre *abab*,*vv* est le côté violet, et *rr* le rouge, et toutes les autres couleurs sont contenues entre ces deux espaces. En *m*, à une incidence de 74°, la lumière violette est effacée du spectre *ab* et en *n*, incidence de 66°, les rayons *rouges* sont effacés, les couleurs intermédiaires, le bleu, le vert, etc., étant effacés à des points intermédiaires entre *m* et *n*. Dans le second spectre *a'b'a'b'*, les rayons violets sont effa-

cés à m', incidence de 66°20', et les *rouges* à n, incidence de 56°. Dans le troisième spectre $a''b''a''b''$, les rayons *violets* sont effacés à m'' à 57°, et les *rouges* à n'' à 41° 35', et dans le quatrième spectre les rayons *violets* sont effacés à m''' à 40° et à n''' à 23° 30". Une succession semblable de teintes effacées a lieu à toutes les images prismatiques d'une moindre incidence, comme à $\mu\nu$, $\mu'\nu'$, le violet étant effacé à μ et μ' et le rouge à ν et ν', et les couleurs intermédiaires à des points intermédiaires. Dans cette seconde suite, la ligne $\mu\nu$ commence et finit au même angle d'incidence que la ligne $m''n''$, dans la troisième image prismatique $a''b''$, et la ligue $\mu'\nu'$ dans la seconde image prismatique, répond à $m'''n'''$ dans la quatrième. Dans tous ces cas, les teintes effacées dans les directions mn, $\mu\nu$, etc., formeraient, si elles reparaissaient, un spectre prismatique complet dont la longueur serait mn $\mu\nu$, etc.

En considérant l'image ordinaire comme blanche, les teintes s'effacent de la même manière. Le violet s'efface à o, à près de 76 degrés, laissant le *rose*, ou ce qui manque au violet de la lumière blanche, et le rouge s'efface à p, laissant un bleu brillant. Le violet est effacé à q et s, et le rouge à r, et t, comme on peut le penser, d'après la table précédente des couleurs.

L'analyse de ces phénomènes curieux et compliqués en apparence, devient très-simple lorsqu'on les examine à la lumière homogène. L'effet produit sur la lumière rouge est représenté dans la figure 65,

où AB est l'image de l'ouverture étroite réfléchie par la surface primitive de l'acier, et les quatre images de chaque côté répondent aux images prismatiques. Les neuf images cependant sont composées de lumière rouge homogène, qui est totalement ou presque totalement effacée aux quinze rectangles ombrés, qui sont les *minima* de la nouvelle série de couleurs périodiques qui traversent les images ordinaires et latérales.

Les centres *p*, *r*, *t*, *n*, *v*, etc., de ces rectangles, correspondent aux mêmes lettres dans la figure 64, et si l'on avait tracé la même figure pour la lumière violette, les centres des rectangles auraient été situés plus haut, et auraient répondu à *o*, *q*, *s*, *m*, *p*, etc., dans la figure 64. Les rectangles auraient dû être ombrés pour bien représenter les phénomènes, mais le seul objet de la figure est de faire voir la position et les rapports des *minima*.

Si l'on couvre la surface de l'acier à facettes d'un fluide pour diminuer la force réfractive de la surface, on développe plus d'ordre de couleurs sur l'image ordinaire, et plus de *minima* sur les images latérales, une incidence donnée produisant des teintes plus fortes. Mais ce qui est très-remarquable dans les surfaces à facettes, lorsque l'image ordinaire est parfaitement blanche et que les spectres sont parfaits sans que leurs teintes s'effacent, l'application des fluides sur la surface à facettes développe des couleurs sur l'image ordinaire, et fait effacer les teintes des images latérales. La table sui-

vante contient quelques résultats relatifs à l'image ordinaire.

MEMBRE DE FACETTES par pouce. (par 25 millim.)	TEINTE MAXIMUM SANS FLUIDE.	TEINTE MAXIMUM AVEC DES FLUIDES.
312	Parfaitement blanc.	1. Eau, nuance de jaune. 2. Alcohol, nuance de jaune. 3. Huile de cassia, jaune rougeâtre pâle.
3333	Jaune-gomme-gutte du premier ordre	1. Eau, rouge rosé (1er ordre). 2. Alcohol rose rougeâtre. 3. Huile de cassia, bleu brillant (2e ordr.)

On observe des phénomènes analogues à ceux que nous venons de décrire sur les surfaces à facettes de l'*or*, de l'*argent* et du *spath calcaire*, et sur les surfaces d'*étain*, de *cuivre*, de *platine*, de *nickel*, etc., qui ont reçu l'impression de l'acier. Pour un rapport complet des phénomènes remarqués sur plusieurs de ces substances, il faut renvoyer le lecteur à un mémoire original inséré dans les transactions philosophiques de 1829.

CHAPITRE XV.

Des propensions à la réflexion et à la transmission, et de l'interférence ou interposition de la lumière.

(83.) Dans les chapitres précédens, nous avons décrit une classe très-étendue de phénomènes qui semblent tous avoir une même origine. D'après ses expériences sur les couleurs des plaques minces et épaisses, Newton jugea qu'elles étaient produites par une propriété singulière des particules de lumière, en vertu de laquelle elles ont, à différens points de leur passage, une propension ou disposition à être réfléchies ou transmises par les corps transparens. Sir Isaac ne prétend pas expliquer l'origine de ces propensions ou la cause qui les produit; mais on peut s'en faire une idée passable en supposant que chaque particule de lumière, après avoir été lancée par un corps lumineux, tourne au-

tour d'un axe perpendiculaire à la direction de son mouvement; en présentant alternativement à sa ligne de mouvement un pôle attractif et un répulsif, en vertu de quoi elle sera réfractée si le pôle attractif est très-près d'une surface réfractive sur laquelle elle puisse tomber, et réfléchie si le pôle répulsif est très-près de cette surface. La propension à être réfléchie ou réfractée, augmente ou diminue naturellement, selon que la distance d'un des pôles à la surface du corps augmente ou diminue. On peut se faire une idée moins scientifique de cette hypothèse, en supposant qu'un corps dont un bout est aigu et l'autre émoussé, passe dans l'espace et présente alternativement son bout aigu ou émoussé à la ligne du mouvement. Lorsque le bout aigu rencontre un corps mou placé sur son passage, il le pénètre; si le bout émoussé rencontre le même objet, il le réfléchit ou le repousse.

Pour expliquer ceci plus clairement, soit R (fig. 66) un rayon de lumière tombant sur une surface réfractive MN, et *transmis* par cette surface. Il est évident qu'il doit avoir rencontré la surface MN lorsqu'il était plus près de sa propension à la transmission que de sa propension à la réflexion; mais quoiqu'il fût exactement dans sa propension à la transmission, ou qu'il en fût près, il se trouve, par l'action de la surface, au même état que s'il avait commencé sa propension à la transmission en *t*. Supposons que sa propension à la réflexion commence lorsqu'il aura parcouru un espace égal à *tr*, sa pro-

pension à la transmission recommençant toujours en *t*, *t'*, etc., et celle à la réflexion en *r r'*, etc., il est alors évident que si le rayon rencontre une seconde surface transparente en *t*, *t'*, etc., il est transmis; et s'il la rencontre en *r*, *r'*, etc., il est réfléchi. Les espaces *tt'*, *t't''*, s'appellent les intervalles des propensions à la transmission, et *rr'*, *r'r''* les intervalles des propensions à la réflexion. Or, comme les espaces *t t'*, *rr'* sont égaux, par hypothèse, pour la lumière des mêmes couleurs, il est clair que si MN est la première surface d'un corps, le rayon sera transmis si l'épaisseur du corps est *tt'*, *t't''*, etc.; c'est-à-dire *tt'*, 2*tt'*, 3*tt'*, 4*tt'*, 5*tt'*, ou un multiple quelconque de l'intervalle de la propension à une transmission facile. De la même manière, le rayon est réfléchi si l'épaisseur du corps et *tr*, *tr'*, ou puisque *t t'* est égal à *rr'*, si l'épaisseur du corps est égale à 1/2 *t t'*; 1, 1/2 *t t'*; 2, 1/2 *tt'*; 3, 1/2 *tt'*, Ainsi, si le corps MN avait des surfaces parallèles, et si l'on plaçait l'œil au-dessus de manière à recevoir les rayons réfléchis perpendiculairement, on verrait, dans tous les cas, la surface MN, par la portion de lumière réfléchie uniformément par cette surface; mais si l'épaisseur du corps était *tt'*, 2*tt'*, 3*tt'*, 4*t t'* ou 1000*tt'*, l'œil ne recevrait aucun rayon de la seconde surface, parce qu'ils seraient tous transmis; et de la même manière, si l'épaisseur était 1/2 *t t'*; 1 1/2 *tt'*; 2 1/2 *tt'*; ou 1000 1/2 *tt'*, l'œil recevrait *toute la lumière* réfléchie par la seconde surface, parce qu'elle est totalement réfléchie. Lorsque cette lumière réfléchie ren-

contre la première surface MN en se dirigeant vers l'œil, elle est totalement transmise parce qu'elle est alors dans sa propension à la transmission. Ainsi, dans le premier cas, l'œil ne reçoit aucune lumière de la *seconde* surface, et dans le second cas, il reçoit toute la lumière de la *seconde* surface. Si le corps avait des épaisseurs intermédiaires entre *tt'* et 2 *tt'*, etc., comme 3/4 *tt'*, la seconde surface réfléchirait une portion de lumière, augmentant suivant que l'épaisseur augmente de *tt'* à 1 1/2 *tt'*, et diminuant suivant que l'épaisseur augmente de 1 1/2 *tt'* à 2 *tt'*.

Mais supposons que la surface dont la plaque est MN soit d'une épaisseur inégale, comme la couche d'air qui est entre deux lentilles, ou une couche de verre soufflé. Supposons que son épaisseur varie comme un coin de bois MNP (*fig.* 67.), soient *tt'*, *rr'* les intervales des propensions, et plaçons l'œil sur le coin, comme avant. Il est clair que, près du point N, la lumière qui tombe sur la seconde surface NP est entièrement transmise parce qu'elle est dans sa propension à la transmission; mais à l'épaisseur *tr*, la lumière R est réfléchie par la seconde surface, parce qu'elle est alors dans sa propension à la réflexion. De cette manière, la lumière est transmise à *t'*, réfléchie à *r'*, et transmise à *t''*, de sorte que l'œil au-dessus de MN voit une série de bandes obscures et lumineuses, le milieu des obscures étant à N, *t'*, *t''*, sur la ligne NP, et celui des lumineuses à *r*, *r'*, *r''*, sur la même ligne. Supposons que la figure convienne à la lumière rouge homogène, *tt'* étant l'intervalle

d'une propension pour cette espèce de rayon; dans la lumière violette V, l'intervalle des propensions est moindre, comme $\tau\rho$. Ainsi, si l'on se sert de la lumière violette, dont l'intervalle des propensions est $\tau\rho$, on voit une plus petite série de *bandes* ou franges *violettes* et *obscures*, dont les points les plus obscurs sont à N, τ', τ'', etc., et les plus brillans à ρ, ρ', etc. De la même manière, suivant les couleurs intermédiaires du spectre, il se forme des bandes de grandeurs intermédiaires, dont les points les plus obscurs sont entre τ', et t', τ'', et t'', et les plus brillans entre ρ et r, ρ' et r', etc., et lorsqu'on se sert de lumière blanche, on voit ces bandes de diverses couleurs former des franges des différens ordres de couleurs donnés dans la table des pages 134 et 135. Si MNP, au lieu d'être la section d'un prisme, était la section de la moitié d'une lentille plano-concave, dont le centre fût N, et dont la surface concave eût une direction oblique à-peu-près comme NP, la direction des bandes serait toujours perpendiculaire au rayon NP, ou les bandes sont des cercles réguliers. Par la même raison, les bandes colorées sont circulaires dans la lentille concave d'air qui est entre les verres, la même couleur paraissant toujours à la même épaisseur du milieu, ou à la même distance du centre.

Sir Isaac Newton expliqua par les même moyens, les couleurs des plaques épaisses, avec cette différence que, dans ce cas, les franges ne sont pas produites par la lumière réfractée et réfléchie régulièrement, par les deux surfaces du miroir concave, mais par

la lumière répandue irrégulièrement par la première surface du miroir, qui est polie imparfaitement, car il observe qu'il n'y a aucun verre ou speculum, quelque bien poli qu'il soit, qui ne répande, outre la lumière qu'il réfléchit et réfracte régulièrement, une lumière faible et irrégulière au moyen de laquelle on voit dans toutes les positions la surface polie, lorsqu'elle est éclairée dans une chambre obscure par un rayon de lumière solaire.

La même théorie des propensions explique facilement les phénomènes des plaques doubles et d'une épaisseur égale, que nous avons décrits dans un autre chapitre. Il y a cependant d'autres phénomènes des couleurs auxquels elle ne s'applique pas si bien; c'est pourquoi elle a été en grande partie remplacée par la doctrine d'interférence que nous allons expliquer.

(83.) En examinant les raies blanches et noires formées par l'inflexion dans les ombres des corps, le docteur Young trouva que lorsqu'il plaçait un écran opaque à quelques pouces devant ou derrière d'un côté du corps infléchissant B (fig. 56) de manière à intercepter toute la lumière de ce côté en recevant le bord de l'ombre sur l'écran, toutes les franges de l'ombre disparaissaient constamment, quoique la lumière passât comme avant, par l'autre bord du corps. Il en conclut que la lumière qui passait des deux côtés du corps était nécessaire pour produire les franges; ce qu'il aurait pu conclure de ce fait connu, que lorsque le corps passait une certaine

grandeur, il n'y avait point de franges dans son ombre. En raisonnant sur cette conclusion, le docteur Young fut conduit à la pensée que les franges au-dedans de l'ombre, étaient produites par *l'interférence des rayons courbés dans l'ombre par un côté du corps B, avec les rayons courbés dans l'ombre par l'autre côté.*

Pour expliquer *la loi d'interférence* indiquée dans cette expérience, supposons que deux faisceaux de lumière divergent de deux points très-près l'un de l'autre, et que cette lumière tombe en un seul endroit sur un morceau de papier parallèle à la ligne qui joint les points, de telle sorte que cet endroit soit exactement opposé au point milieu de la distance des deux points rayonnans.

Dans ce cas, on peut dire qu'ils interfèrent l'un avec l'autre, parce que les faisceaux se croiseraient à cet endroit si l'on ôtait le papier, et divergeraient l'un de l'autre. Cet endroit est donc éclairé par la somme de leurs lumières, et dans ce cas, la longueur du chemin des deux faisceaux est exactement la même, la tache sur le papier étant également distante des deux points rayonnans. Or on a trouvé que lorsqu'il y avait une certaine légère différence entre la longueur des chemins des deux faisceaux de lumière, l'endroit du papier où les deux lumières interfèrent est encore une tache brillante éclairée par la somme des deux lumières. Si l'on appelle *d* cette différence dans la longueur de leurs chemins, des points brillans seront formés par l'interférence

des deux rayons, lorsque la différence de longueurs des chemins est *d*, 2 *d*, 3 *d*, 4 *d*, etc. Tout ceci ne se rapporte qu'à ce qu'on observe chaque jour, mais ce qui est vraiment remarquable et inattendu, c'est que, lorsque deux faisceaux interfèrent à des points intermédiaires, ou lorsque la différence des chemins des deux faisceaux est 1/2 *d*, 1 1/2 *d*, 2 1/2 *d*, 3 1/2 *d*, etc., au lieu d'ajouter mutuellement à leur intensité, et de produire une clarté égale à la somme de leur lumière, *ils se détruisent mutuellement* et *forment* une tache obscure. Cette propriété curieuse est analogue au battement de deux sons musicaux, presque en unisson l'un avec l'autre; les battemens ont lieu lorsque l'effet des deux sons est égal à la somme de leurs intensités séparées, ce qui correspond aux taches ou franges lumineuses, lorsque l'effet des deux lumières est égal à la somme de leurs intensités séparées; et le son cesse entre les battemens, lorsque les deux sons se détruisent, ce qui correspond aux taches ou franges obscures, lorsque les deux lumières produisent l'obscurité.

Cette doctrine explique bien les phénomènes de l'inflexion de la lumière et ceux des plaques minces et épaisses. Quant aux franges intérieures ou à celles situées dans l'ombre, il est clair que, comme le milieu de l'ombre est à égale distance des bords du corps infléchissant B (fig. 56), il n'y a aucune différence dans le chemin des faisceaux qui viennent de chaque côté du corps; et par conséquent le long du milieu de chaque ombre étroite, il doit y avoir

une bande blanche éclairée par la somme d
mière des deux faisceaux infléchis : mais à u
éloigné du centre de l'ombre, d'une telle d
que la différence des deux chemins du fais
chaque côté du corps soit égale à 1/2 d, le
faisceaux se détruisent et forment une band
Ainsi, il y a une bande noire de chaque cô
bande centrale brillante. On peut faire voir d
manière, qu'à un point éloigné du centre de l
d'une distance telle que la différence des lo
des chemins soit 2 d, 3 d, 4 d, il y a des
brillantes; et aux points intermédiaires, où l
rence des longueurs des chemins est 1 1/2 d,
etc., il y a des bandes obscures.

Quant à l'origine des franges extérieures,
teur Young et M. Fresnel l'attribuèrent à l'
rence des rayons directs avec d'autres rayon
chis par le bord du corps infléchissant, m
Fresnel a trouvé que les franges existaient
même cette réflexion ne pouvait avoir lieu, et
leurs prouvé l'insuffisance de ce raisonnement
même il y aurait des rayons réfléchis de ce
nière. Il attribue donc les franges extérieure
terférence des rayons directs avec d'autres q
sent à une distance sensible du corps infléch
et qui dévient de leur direction primitive. Il
l'existence de ces rayons par la théorie ond
que nous expliquerons dans la suite.

La direction de l'interférence explique a
blement les phénomènes des plaques min

lumière réfléchie par la seconde surface de la plaque interfère avec celle réfléchie par la première, et comme ces deux faisceaux de lumière viennent de différens points de l'espace, ils doivent atteindre l'œil avec une longueur de chemin différente. Ainsi, par leur interférence, ils forment des franges lumineuses lorsque la différence des chemins est d, 2 d, 3d, etc., et des franges obscures, lorsque cette différence est 1/2 d, 1, 1/2 d, 2, 1/2 d, 3, 1/2 d, etc.

En expliquant les couleurs des plaques épaisses observées par Newton, la lumière répandue irrégulièrement par chaque point de la première surface du miroir concave, tombe en divergeant sur la seconde surface, et étant réfléchie par cette surface en lignes divergeant d'un point situé derrière, elles sont réfractées au sortir de la première surface du miroir, et divergent comme si elles venaient d'un point plus près du miroir, mais situé derrière sa surface. Donc, à partir de ce dernier point, l'écran MN (fig. 60) est éclairé par les rayons dispersés en pénétrant dans la seconde surface. Mais lorsque la lumière réfléchie régulièrement, après avoir été réfléchie par la seconde surface, sort de la première, elle est dispersée irrégulièrement à chaque point de la surface, et en partant de ces points, elle vient éclairer l'écran de papier MN. Ainsi, chaque point de l'écran de papier est éclairé par deux sortes de lumière dispersée, l'une rayonnant de chaque point de la première surface, et l'autre de points situés derrière la seconde surface; et c'est ainsi que se for-

ment des bandes obscures et brillantes lorsque la différence des longueurs de leur chemin est telle que nous l'avons décrite.

La loi d'interférence peut aussi expliquer les couleurs de deux plaques d'une épaisseur et d'une pente égales. Quoique la lumière réfléchie par les différentes surfaces de la plaque en sorte parallèle, comme dans la figure 61, cependant elle arrive à l'œil par des chemins de longueurs diverses, à cause de la pente des plaques.

Les couleurs des fibres fines, des particules menues, des surfaces tachées et rayées, et des lignes parallèles équidistantes, peuvent se rapporter à l'interférence de différentes portions de lumière qui atteignent l'œil par des chemins de différentes longueurs, et quoiqu'il existe quelques difficultés dans l'application de cette doctrine à des phénomènes particuliers qu'on n'a pas assez étudiés, cependant on ne doute pas qu'on ne détruise ces difficultés par des recherches plus soigneuses.

Comme tous les phénomènes de l'interférence dépendent de la quantité d, il est intéressant de connaître sa grandeur exacte dans chaque rayon coloré, et de trouver, s'il est possible, une cause primitive à son origine. Il est clair, comme l'a remarqué Fraunhofer, que cette quantité d est une grandeur réelle absolue, et quelque signification qu'on lui donne, on peut prouver que sa moitié, par rapport aux phénomènes qu'elle produit, est exactement opposée dans ses propriétés à l'autre

ıitié, de sorte que si la moitié antérieure se com-
ıe avec soin avec la postérieure, ou interfère avec
e de cette manière et sous un petit angle, l'effet
ıduit séparément par chacune est détruit, tandis
il est double si les deux moitiés antérieures ou
ıtérieures de cette grandeur se combinent ou in-
fèrent d'une manière semblable.

84.) Dans la théorie de la lumière de Newton, théorie d'émission, comme on l'appelle, dans ıelle il suppose que la lumière est composée de lécules matérielles lancées par les corps lumi-x, et se meuvent dans l'espace avec une vélocité 192,000 milles (environ 32,000 myriamèt.) par ınde, la quantité *d* est double de l'intervalle des pensions à une réflexion ou à une transmission le, tandis que dans la théorie ondulatoire, elle égale à la largeur d'une ondulation ou vague de ière.

ans la théorie ondulatoire, on suppose que tout ıce est rempli d'un milieu très-mince et très-élas-e, nommé *éther*, qui occupe les intervalles des écules des corps matériels. L'éther doit être as-:are pour n'offrir aucune résistance appréciable corps planétaires qui le traversent librement.

es molécules de cet éther sont comme celles de , capables d'être mises en vibration par l'agita-des molécules de matière, de sorte que les on-tions ou vibrations peuvent être propagées dans s les directions. Dans des milieux réfractifs, il

On suppose que les différences
nent de certaines différences dan
ondulations éthérées; le *rouge*
nombre d'ondulations beaucoup
temps donné, que le *bleu ;* les
diaires sont produites par des nom
d'ondulations.

Chacune de ces deux théories
difficultés qui lui sont particulièr
des ondulations a fait beaucoup d
temps modernes; elle est d'ailleurs
par une classe très-étendue de ph
a été adoptée par la plupart d
distingués.

Dans un ouvrage comme celui
prendrons pas d'expliquer en d
de cette théorie. Il sera suffisant d
trine d'interférence s'accorde co

double, tandis que, lorsque l'élévation de l'une coïncide avec la dépression de l'autre, les deux systèmes de vagues sont totalement détruits. « La grande et la morte marée, dit le docteur Young, qui viennent de la combinaison des simples marées soli-lunaires, donnent un exemple magnifique de l'interférence de deux vagues immenses; la grande marée étant le résultat joint de la combinaison, lorsque les vagues coïncident en temps et lieu, et la marée morte lorsqu'elles se suivent à la distance d'un demi-intervalle, de manière à ne rendre sensible que l'effet de leur différence. Les marées du port de Batsha, décrites et expliquées par Halley et Newton, sont une modification différente de la même opposition d'ondulation, les temps ordinaires de la marée haute et basse étant totalement détruits à cause de la longueur différente des deux canaux par lesquels la marée arrive, qui se trouve former exactement le demi-intervalle qui cause la disparution de l'alternative. On peut aussi observer, en jetant deux pierres égales dans une eau stagnante, que les cercles des vagues qu'elles forment s'effacent mutuellement et laissent la su[illegible] de l'eau tranquille dans certaines lignes d'une [illegible] hyperbolique, tandis [illegible] urface montre une [illegible] ux séries réunies.
[illegible] M. Hershel, con-
[illegible] la théorie ondula-

0,0000266(0,0000[illegible])	39180	477
0,0000256(0,0000065)	40720	495
0,0000246(0,0000062)	41610	506
0,0000240(0,0000061)	42510	517
0,0000235(0,0000060)	44000	535
0,0000227(0,0000058)	45600	555
0,0000219(0,0000056)	47460	577
0,0000211(0,0000054)	49320	60
0,0000203(0,0000052)	51110	62
0,0000196(0,0000050)	52910	64
0,0000189(0,0000048)	54070	65
0,0000185(0,0000047)	55240	67
0,0000181(0,0000046)	57490	6
0,0000174(0,0000044)	59750	7
0,0000167(0,0000042)		

D'après cette table, dit M. Herschel, on voit que la sensibilité de l'œil est resserrée dans des limites beaucoup plus étroites que celles de l'oreille, le rapport des vibrations extrêmes étant presque 1,58:1; par conséquent moindre qu'une octave, et à peu près égale à une sixième mineure. Il n'est pas peu étonnant que l'homme puisse mesurer avec certitude de si petites portions de temps et d'espaces, car on peut observer, quelle que soit la théorie de lumière qu'on adopte, que ces périodes et espaces *existent réellement*, qu'ils ont été mesurés directement par Newton, et qu'ils n'ont d'hypothétique que les noms qu'on leur donne.

CHAPITRE XVI.

Absorption de la lumière.

(85.) Une des propriétés les plus curieuses des corps dans leur action sur la lumière, propriété que nous croyons très-importante pour l'explication des phénomènes d'optique et d'une grande utilité dans les recherches sur l'optique, C'est le pouvoir qu'ont ces corps d'absorber l[illegible] lumière. Les corps les plus transparens de la nat[illegible] l'*air* et l'*eau*, lorsqu'ils sont suffisamment épa[illegible]vent eux-mêmes absorber une grande quanti[illegible] de lumière. Sur le sommet des plus hautes mont[illegible] on voit beaucoup plus d'étoiles que dans les p[illegible] parce que leur lumière traverse une masse d[illegible]moins grande; et à une

grande profondeur sous l'eau les objets sont presqu'invisibles. Les couleurs des nuages du matin et du soir font voir la force d'absorption de l'air, et la couleur rouge du soleil vu à midi dans une cloche à plongeur, à une grande profondeur sous la mer, celle de l'eau. Dans chaque cas, une classe de rayons est absorbée plus promptement que l'autre en passant dans le milieu absorbant, tandis que les autres vont dans ce cas aux nuages, et dans l'autre à l'œil.

La nature renferme des corps qui ont des forces d'absorption de tous les degrés, comme l'indique la petite table suivante :

Charbon de bois.	Obsidienne.
Charbon de toutes espèces.	Cristal de roche.
Métaux en général.	Sélénite.
Argent.	Verre.
Or.	Mica.
Hornblende.	Eau de fluides transparens.
Pléonaste noire.	Air et gaz.

Quoique le charbon de bois soit le corps le plus absorbant, cependant, lorsqu'il est divisé en très-petits morceaux, comme dans plusieurs gaz et flammes, ou dans un état particulier de combinaison, comme dans le diamant, il est extrêmement transparent. De la même manière tous les métaux sont transparens lorsqu'ils sont en solution, et même l'or et l'argent battus en feuilles minces sont transparens; le premier transmet une belle lumière bleue, et le second une belle lumière verte.

Les savans n'ont pas trouvé la nature du pouvoir par lequel les corps absorbent la lumière. Quelques-uns ont cru que les molécules de lumière sont réfléchies de tous côtés par les molécules du corps absorbant, ou détournées par une force qui réside dans les molécules ; tandis que d'autres croient qu'elles sont retenues par le corps, et assimilées à sa substance. Si les molécules de lumière étaient *réfléchies*, ou simplement détournées de leur direction par l'action des molécules du corps, il semble qu'on pourrait démontrer qu'une portion de la matière la plus opaque, comme du charbon de bois. exposée à une forte lumière, deviendrait phosphorescente ou au moins blanche pendant qu'elle serait éclairée : mais comme la lumière qui le pénètre ne reparaît plus, il faut croire, jusqu'à ce qu'on prouve le contraire, qu'elle est *arrêtée* par les molécules du corps, et qu'elle y reste sous la forme d'une matière impondérable.

On peut se faire une idée de la loi suivant laquelle un corps absorbe la lumière, en supposant que ce corps est composé d'un nombre donné de plaques également minces, aux surfaces réfractives desquelles aucune lumière n'est perdue par la réflexion. Si la première plaque à le pouvoir d'absorber 1/10 de la lumière qui la pénètre, ou 100 rayons sur 1000 ; 9/10 de la lumière primitive, ou 900 rayons tombent sur la seconde plaque ; 1/10 de ces rayons ou 90 étant absorbés, 810 tombent sur la troisième plaque, et ainsi de suite. Ainsi il est clair que la

quantité de lumière absorbée par un nombre quelconque de couches est égale à la lumière transmise au travers d'une couche multipliée par elle même autant de fois qu'il y a de couches. Ainsi, si 1000 rayons sont transmis par une seule couche, la quantité transmise par trois couches est $9/10 \times 9/10 \times 9/10 =$ $729/1000$ ou 729 rayons, et la quantité absorbée est 271 rayons. Quant aux corps divers qui absorbent une grande quantité de lumière, il y en a peu qui absorbent tous les rayons du spectre en quantités égales. Tandis que certains nuages absorbent les rayons *bleus* et transmettent les *rouges*, d'autres absorbent tous les rayons en proportions égales, et font paraître le soleil et la lune, vus au travers de leur épaisseur, d'une belle couleur blanche. L'encre étendue d'eau offre un bel exemple d'un fluide qui absorbe tous les rayons en proportions égales, c'est pourquoi sir William Herschel la prit comme substance noire, pour avoir une image blanche du soleil. La pléonaste noire et l'obsidienne donnent des exemples de corps solides qui absorbent dans la même proportion toutes les couleurs du spectre.

(86.) Cependant tous les corps transparens, solides ou fluides, n'absorbent pas les couleurs proportionnellement, car ce n'est que par une absorption inégale, que la lumière transmise les fait paraître colorés. Pour faire voir cette force d'absorption, prenez un morceau épais du verre bleu dont on se sert pour les lunettes, et dont on trouve quelquefois des baguettes cylindriques d'un 3/10 de pouce (7, millim. 61) de

diamètre, et taillez-le en coin. Faites, avec un prisme, une image prismatique de la chandelle, ou, ce qui vaut mieux, d'une ouverture rectangulaire et étroite dans le volet, et examinez l'image prismatique au travers du coin de verre coloré. Au travers du bout le plus mince le spectre paraît presque aussi complet qu'avant l'interposition du coin ; mais en le regardant à des épaisseurs de plus en plus grandes, on voit certaines parties ou couleurs du spectre s'affaiblir de plus en plus, et disparaître graduellement, tandis que d'autres ne perdent que très-peu de leur éclat. Lorsque l'épaisseur est près d'un 20ᵉ de pouce, (1 millim. 76), le spectre est comme dans la fig. 68, où *le milieu* R *du rouge* est entièrement absorbé; *le rouge intérieur* qui reste a une moindre intensité; l'*orangé* est entièrement absorbé ; le *jaune* Y est presque isolé ; dans le *vert* G, un côté du jaune est très-absorbé, et le vert et le bleu sont légèrement absorbés. A une épaisseur encore plus grande, le rouge *intérieur* diminue rapidement, ainsi que le jaune, le vert et le bleu ; enfin, à une certaine épaisseur, toutes les couleurs intermédiaires sont absorbées, et il ne reste que les deux extrêmes, le *rouge* R et le *violet* V, ainsi qu'on le voit dans la figure 69. Comme la lumière rouge R, a une intensité beaucoup plus grande que la violette, le verre paraît rouge à cette épaisseur, tandis qu'à des épaisseurs plus petites il paraissait bleu.

D'autres milieux colorés, au lieu d'absorber le milieu du spectre, absorbent les uns une extrémité, les

absorbe avec une promptitu
le violet. On peut former u
ble par suite de ces différent
l'on regarde au travers du
voir le spectre comme dans la
de nouveau ce spectre avec u
fate de cuivre, qui absorbe le
et V, les deux substances ains
à-fait opaques, et aucun rayo
fet serait peut-être plus frappa
objet blanc et brillant au tra
réunis.

(87) En voulant éprouver l
leur sur la force absorbante du
surpris de voir qu'elle produisai
sur des verres dfférens, *diminua*
tion des uns, et *augmentant* cell
chauffé au rouge un verre pour
plus grande partie du vert, le ja
térieur ou le plus réfrangible,
forte lumière

le vert et le jaune qu'avant il absorbait en grande partie. Cependant cet effet disparut graduellement, et lorsque le verre fut complétement froid, il reprit sa première force d'absorption.

Lorsque l'on chauffait de la même manière un morceau de verre vert-jaunâtre, il perdait presqu'entièrement sa transparence. En reprenant sa couleur verte, il passait par différentes nuances de vert-olive, mais lorsqu'il était froid, il était moins vert qu'avant l'expérience. Une partie du verre avait pris une structure polarisée en refroidissant, et on pouvait la distinguer du reste par une différence de teinte.

Une plaque de verre rouge sombre, qui donnait une image rouge homogène de la chandelle, devenait très-opaque lorsqu'on la chauffait, et transmettait à peine la lumière de la chandelle lorsque sa chaleur rouge était passée. Cependant elle recouvrait sa transparence à un certain degré, mais froide, elle était plus opaque que le morceau dont elle provenait. J'ai observé des phénomènes analogues dans des corps minéraux. La chaleur change pour toujours la force d'absorption de certains échantillons de topaze. En soumettant le rubis balais à de hauts degrés de chaleur, j'observai que sa couleur rouge se changeait en *vert*, qui se changeait en brun à mesure que le rubis refroidissait, jusqu'à ce qu'il eut repris par degrés sa couleur primitive. M. Berzelins observa de même que la spinelle devenait *brune* par la chaleur, puis opaque lorsqu'on augmentait la chaleur, et qu'elle passait par un beau vert-olive avant de reprendre

sa couleur rouge. On voit un changement remarquable de force d'absorption en chauffant très-fort, mais pas assez pour l'enflammer, une plaque d'orpiment jaune naturel qui absorbe les rayons bleus et violets. La chaleur la rend presque *rouge de sang*, parce qu'elle absorbe la plus grande partie des rayons jaunes et verts. Elle reprend cependant sa couleur absorbante en refroidissant. On peut produire un effet plus frappant avec du phosphore pur, qui est d'une couleur jaunâtre et transmet librement presque tous les rayons colorés. Lorsqu'on le fond et qu'on le laisse refroidir graduellement, il acquiert le pouvoir d'absorber toutes les couleurs du spectre, à une épaisseur à laquelle il les transmettait toutes auparavant. La noirceur produite sur le phosphore pur fut observée d'abord par M. Thénard. M. Faraday remarque que du verre teint en pourpre avec du manganèse, avait sa force d'abssorption altérée par la seule transmission des rayons solaires.

Par la méthode déjà décrite d'absorber certaines couleurs du spectre, je fus conduit à proposer une nouvelle méthode d'analyser la lumière blanche. Les expériences avec le verre bleu prouvent incontestablement que l'orangé et le vert sont des couleurs composées dans le spectre solaire qui, quoiqu'indécomposables par le prisme, sont décomposables par l'absorption qui peut faire voir en particulier le rouge de l'orangé et le bleu du vert, ou le jaune de l'orangé et le jaune du vert : c'est en soumettant les autres couleurs à l'examen de différens milieux absorbans, que

je fus conduit aux conclusions, sur le spectre, qui se trouvent dans le chapitre VII.

Nous avons déjà vu que dans le spectre solaire, tel qu'il est décrit par Fraunhofer, il y a des lignes sombres, comme si des rayons de refrangibilité particulière avaient été absorbés dans leur passage du soleil à la terre. Il n'est pas probable que cette absorption ait eu lieu dans notre atmosphère, car ces lignes auraient manqué dans les spectres des étoiles fixes, et les rayons de lumière solaire réfléchis par la lune et les planètes auraient problablement été modifiés par leurs atmosphères. Mais comme cela n'est point, il est probable que les rayons qui manquent dans le spectre ont été absorbés par l'atmosphère du soleil, comme l'a supposé M. Herschel.

(88.) Le sujet des flammes colorées qui, examinées avec un prisme, donnent des spectres auxquels manquent des rayons particuliers et qui ressemblent au spectre solaire examiné par des verres colorés, est lié au précédent. Le gaz hydrogène pur, brûle avec une flamme bleue, dans laquelle manquent plusieurs rayons lumineux. La flamme d'une lampe à huile contient plusieurs des rayons qui manquent dans la lumière solaire. De l'alcool étendu d'eau, puis chauffé et enflammé, donne une flamme qui n'a d'autre rayon que le jaune. Presque tous les sels donnent à la flamme une couleur particulière; on peut le voir en introduisant la poudre de ces sels dans la flamme extérieure d'une chandelle ou dans la mèche d'une lampe à esprit de vin. M. Herschel a donné

les développer, nous allons expliquer la loi de la double réfraction telle qu'elle existe dans ce minéral. Le spath calcaire est un composé de 56 parties de chaux, et 44 d'acide carbonique. On le trouve dans presque tous les pays en cristaux de diverses formes et quelquefois en grosses masses; mais quelque forme qu'il ait, soit en cristal ou en masse, on peut toujours le fendre ou le tailler de manière à lui donner la forme représentée dans la figure 70, qu'on appelle un rhombe de spath d'Islande, solide, terminé par six surfaces rhomboïdes égales et semblables, dont les côtés sont parallèles, et les angles BAC, ACD, de 101° 55' et 78° 5'.

L'inclinaison d'une face quelconque ABCD, relativement à une quelconque des faces qui la rencontrent en A, est de 105° 5', et relativement à une quelconque des faces adjacentes, qui se rencontrent en X, 74° 55'. La ligne AX appelée l'axe du rhombe ou du cristal, est également inclinée relativement à chacune des six faces, et d'un angle de 45° 23'. L'angle formé par l'axe AX, et une quelconque des trois arètes qui se rencontrent en A, ou en X, est 66° 44', 46", et l'angle formé par deux quelconques des six arètes ou faces, est de 113° 15' 14" pour les arètes et 66° 44' 46" pour les faces.

(90.) Le spath d'Islande est très transparent, et ordinairement incolore. Ses faces naturelles, lorsqu'on le casse, sont ordinairement égales et parfaitement polies, mais si elles ne le sont pas, on peut, en le fendant de nouveau, remplacer la surface

imparfaite par une meilleure, ou tailler et polir la face imparfaite.

Ayant pris un rhombe de spath d'Islande, semblable à la figure, à faces unies et bien polies, et assez grand pour qu'une des arètes AB ait au moins un pouce de longueur (25 millimètres), placez une de ses faces sur une feuille de papier, sur laquelle est tracée une ligne noire MN, comme dans la figure 71. Si l'on place l'œil en R, et qu'on regarde au travers de la surface supérieure du rhombe, la ligne MN paraît presque toujours double; si elle ne l'était pas on pourrait la rendre double en tournant un peu le cristal. On verra distinctement deux lignes MN, *mn* ; en faisant tourner le cristal, en laissant le même côté sur le papier, les deux lignes coïncideront et paraîtront n'en former qu'une seule à deux points opposés, pendant toute la révolution du cristal : à deux autres points opposés, presqu'à angles droits avec les premiers, les lignes sont à leur plus grande distance. Si l'on place en O un point noir, ou une ouverture lumineuse, comme une piqûre d'épingle dans un pain à cacheter, avec de la lumière qui passe au travers du trou, la tache de l'ouverture paraît double comme O et E; en tournant le cristal comme avant, les deux images sont séparées dans toutes les positions, l'une, E, tournant pour ainsi dire autour de l'autre O.

Si un rayon ou faisceau de lumière *Rr* tombe sur la surface du rhombe à *r*, il est réfracté par l'action

de la surface en deux faisceaux *r*O, *r*E, dont chacun étant réfracté à la seconde surface, aux points O, et E, se meut dans les directions o°, E*e*, parallèles l'une à l'autre, et au rayon incident. R*r* Ainsi, le rayon R*r* a été *doublement réfracté* par le rhombe.

Si maintenant l'on examine et qu'on mesure l'angle de réfraction du rayon *r*O, qui correspond à plusieurs angles d'incidence, on trouve qu'à o° d'incidence, ou à une incidence perpendiculaire, il n'est pas réfracté, mais traverse le cristal en une seule ligne droite et qui ne dévie pas; qu'à toutes les autres incidences, le sinus de l'angle de réfraction est à celui de l'angle d'incidence comme 1 est à 1,654; et que le rayon réfracté est toujours dans le même plan que le rayon incident. Il est donc clair que le rayon *r*O est réfracté suivant la *loi ordinaire de réfraction* que nous avons déjà expliquée. Si l'on examine de la même manière le rayon *r*E, on voit qu'à une incidence perpendiculaire ou de o° l'angle de rèfraction, au lieu d'être o°, est 6° 12'; qu'à d'autres incidences l'angle de réfraction ne suit pas le rapport constant des sinus, et, ce qui est plus extraordinaire, que le rayon réfracté *r*E est courbé d'un côté, et entièrement hors du plan d'incidence. Il s'ensuit que le rayon *r*E est réfracté suivant quelque loi de réfraction nouvelle et extraordinaire. Le rayon *r*O s'appelle le *rayon ordinaire, et r*E *le rayon extraordinaire.*

Si l'on fait tomber le rayon R*r* dans différentes directions, soit sur les faces naturelles du rhombe,

soit sur des faces taillées et polies, on verra que, dans le spath d'Islande, il y a une direction AX, que le faisceau réfracté doit suivre, pour ne pas être réfracté en deux faisceaux, ou éprouver une double réfraction. Dans d'autres cristaux, il y a deux directions semblables qui se coupent. Dans le premier cas on dit que le cristal a un seul axe de double réfraction, et dans le second, qu'il a deux axes de double réfraction. Ces lignes ont été nommées axes de double réfraction, parce que les phénomènes se rapportent à ces lignes. Dans quelques corps il y a des plans par lesquels le rayon réfracté doit passer pour ne pas éprouver de double réfraction.

Cependant un axe de double réfraction n'est pas comme l'axe de la terre, une *ligne fixe* dans le rhombe ou cristal. Ce n'est qu'une *direction fixe*, car si l'on divise ce qui se peut, le rhombe ou cristal ABC, (fig. 70), en deux ou plusieurs rhombes, chacun de ces rhombes a son axe de double réfraction; mais lorsque ces rhombes sont rassemblés, leurs axes sont tous parallèles à AX. Ainsi dans un rhombe, toute ligne parallèle à AX est un axe de double réfraction; mais comme ces lignes n'ont qu'une seule et même direction dans l'espace, on dit que le cristal n'a qu'un seul axe de double réfraction.

En faisant des expériences avec différens cristaux, on a trouvé que dans quelques-uns le rayon extraordinaire est réfracté *vers l'axe* AX, tandis que dans d'autres, il est réfracté *loin de l'axe* AX. Dans le premier cas, l'axe s'appelle *axe positif de double ré-*

fraction, et dans le second, axe négatif de double réfraction.

DES CRISTAUX A UN AXE DE DOUBLE RÉFRACTION.

(91.) En examinant les phénomènes de la double réfraction, dans un grand nombre de corps cristallisés, je trouvai que les cristaux dont la forme primitive ou la plus simple, n'avait qu'un seul axe de figure, ou une seule ligne prééminente, autour de laquelle la figure est disposée symétriquement, avaient aussi un seul axe de double réfraction, et que l'axe de figure était aussi l'axe de double réfraction. Les formes primitives qui possèdent cette propriété, sont les suivantes :

Rhombe à sommet obtus.

Rhombe à sommet aigu.

Prisme hexaèdre régulier.

Octaèdre à base carrée.

Prisme droit à base carrée.

(92.) La table suivante contient les cristaux qui n'ont qu'un seul axe de double réfraction, rangés d'après leur forme primitive, respective, le signe + précédant ceux qui ont une double réfraction positive et le signe — ceux qui ont une double réfraction négative.

1. *Rhombe à sommet obtus* (*fig.* 72.

— Carbonate de chaux (spath d'Islande).	— Carbonate de chaux et magnésie.
— Carbonate de chaux et de fer.	— Phosphate-arséniate de plomb.

—Carbonate de zinc.
—Nitrate de soude.
—Phosphate de plomb.
—Rubis argenté.
—Levyne.
—Tourmaline.
—Rubellite.
—Pierre d'alun.
—Dioptase.
—Quartz.

2. *Rhombe à sommet aigu (fig. 73).*

—Corindon.
—Saphir.
—Rubis.
—Cinabre.
—Arseniate de cuivre.

3. *Prisme régulier à base carrée (fig. 74).*

—Emeraude.
—Béril.
—Phosphate de chaux (apatite).
—Néphéline.
—Arseniate de plomb.
+ Hydrate de magnésie.

4. *Octaèdre à base carrée (fig. 75).*

+ Zircone.
+ Oxide d'étain.
+ Tungstate de chaux.
—Mellite.
—Molybdate de plomb.
—Octaédrite.
—Prussiate de potasse.
—Cyanure de mercure.

5. *Prisme droit à base carrée (fig. 76).*

—Idocrase.
—Wernérite.
—Paranthine.
—Sulfate de nickel et de cuivre.
—Hydrate de strontite.
—Ménioite.
—Somervilite.
—Edingtonite.
—Arseniate de potasse.

— Sous-phosphate de potasse.
— Phosphate d'ammoniaque et de magnésie.
+ Apophyllite d'Uton.
+ Oxanverite.
+ Superacétate de cuivre et de chaux.
+ Titanite.
+ Glace (certains cristaux.)

Dans tous les cristaux précédens, et dans les formes primitives auxquels ils appartiennent, la ligne AX est l'axe de figure et de double réfraction, ou la seule direction dans laquelle il n'y ait point de double réfraction.

DE LA LOI DE DOUBLE RÉFRACTION DANS LES CRISTAUX A UN SEUL AXE NÉGATIF.

(93.) Pour donner une explication familière de la loi de double réfraction, supposons qu'un rhombe de spath d'Islande soit taillée en sphère, comme dans la fig. 77, AX étant l'axe du rhombe et de la sphère.

Si l'on fait passer un rayon le long de l'axe AX, après avoir taillé entre A et X une surface plate perpendiculaire à AX, on verra qu'il n'y aura point de double réfraction, les rayons ordinaires et extraordinaires n'en formant qu'un seul. Ainsi :

La mesure de réfraction, le long de l'axe AX est { 1,654 pour les rayons ordinaires. 1,654 pour les rayons extraordinaires. }

0,000 de différence.

Si l'on fait de même à un point *a*, à environ 45° de l'axe :

La mesure de réfraction le long de la droite R*ab*O, presque perpendiculaire à la face du rhombe, est	1,654	pour les rayons ordinaires.
	4,572	pour les rayons extraordinaires.
	0,082	de différence.

Si l'on fait de même à un point quelconque de l'équateur CD, incliné de 90° par rapport à l'axe :

La mesure de réfraction perpendiculaire à l'axe, est.	1,654	pour les rayons ordinaires.
	1,483	pour les rayons extraordinaires.
	0,171	de différence.

Il s'ensuit que la mesure de réfraction extraordinaire augmente de l'axe AX à l'équateur CD, ou à une ligne perpendiculaire à l'axe où elle est la plus grande. La mesure de réfraction extraordinaire est la même à tous les angles égaux formés par l'axe AX ; ainsi, à chaque point d'un cercle décrit sur la sphère du pôle A ou X, comme centre, la mesure de réfraction extraordinaire a la même valeur, et par conséquent, la séparation, ou double réfraction des rayons est la même. Ainsi, dans les cristaux qui n'ont qu'un seul axe de double réfraction, les lignes de double réfraction égale sont des cercles parallèles à l'équateur, ou cercle de la plus grande double réfraction.

Le célèbre Huygens, à qui l'on doit la découverte

de la loi de la double réfraction dans les cristaux à un seul axe, a donné la méthode suivante pour déterminer la mesure de réfraction extraordinaire à un point quelconque de la sphère, lorsque le rayon lumineux est incident sur un plan qui passe par l'axe AX du cristal :

Soit proposé par exemple, de déterminer la mesure de réfraction du rayon extraordinaire R*ab*, fig. 77, AX étant l'axe du cristal, et CD son équateur; la mesure ordinaire de réfraction étant connue, et aussi la mesure de la réfraction moindre ou extraordinaire, ou qui a lieu dans l'équateur.

Dans le spath calcaire, ces nombres sont 1,654 1,483. A partir de O, marquez sur OC et CD prolongées les distances O*c*, O*d*, telles que OC ou OD, soit à O*c* ou O*d*, comme 1/1,654 est à 1/1,483, ou comme 0,604 est à 0,674, et par les points A, *c*, X, *d*, menez une ellipse dont le plus grand axe soit *cd*, et le plus petit AX. Le rayon O*a* de l'ellipse, est ce qu'on appelle la réciproque de la mesure de réfraction à *a* ; et comme on peut trouver O*a*, soit par le calcul, soit en projetant l'ellipse sur une plus grande échelle, on n'a qu'à diviser 1 par O*a* pour avoir cette mesure. Dans le cas actuel O*a* est 0,636, et 1/0,636 est égal à 1,572, qui est la mesure demandée.

Comme la mesure de réfraction extraordinaire ainsi trouvée, diminue toujours du pôle A à l'équateur CD, et est toujours égale à la mesure de réfraction ordinaire, *moins* une autre quantité qui dépend

de la différence du rayon du cercle et de celui de l'ellipse, on peut dire que les cristaux qui possèdent cette propriété ont une double réfraction *négative*.

Pour déterminer la direction du rayon extraordinaire réfracté, lorsque le plan d'incidence est oblique, relativement à un plan qui passe par son axe, le procédé par le calcul ou la projection est trop long pour être inséré dans un traité élémentaire.

Dans tous les cas, la force qui produit la loi de réfraction est exercée comme si elle venait de l'axe.

Chaque plan qui passe au travers de l'axe s'appelle une *section principale* du cristal.

DE LA LOI DE DOUBLE RÉFRACTION DANS LES CRISTAUX A UN SEUL AXE POSITIF.

(94.) Parmi les cristaux les mieux disposés pour faire voir les phénomènes de la double réfraction positive, est le *cristal de roche* ou *quartz*, qu'on trouve ordinairement sous la forme d'un prisme à six pans, comme la fig. 78, terminé par des pyramides hexaèdres E, F. Si l'on ôte les sommets A et X, et qu'on les remplace par des faces bien polies et perpendiculaires à l'axe AX, et qu'on transmette un rayon au travers de ses faces, de manière à ce qu'il passe le long de l'axe AX, on verra qu'il n'y a point de double réfraction, et que la mesure de réfraction est ainsi qu'il suit :

Mesure de réfraction le long de l'axe AX.	}	1,5484 p. les rayons ord.
		1,5484 p. les ray. extr.
		0,0000 de différence.

Si l'on transmet le rayon perp
travers des faces parallèles E, F,
38° 20' relativement à l'axe AX,
passant au travers de AX, on
suivans :

Mesure de réfraction perpendiculaire aux faces de la pyramide.	{	1,548
		1,554
		0,006

On trouvera de la même man
rayon passe perpendiculairement
C, D, perpendiculaires à l'axe AX
fraction est la plus grande, ou :

Mesure de réfraction perpendiculaire aux faces du prisme CD.	}	1,548
		1,558
		0,0098

Il paraît d'après ceci, que dans l
de réfraction extraordinaire augm
l'équateur CD, tandis qu'elle *dimi*
calcaire, et le rayon extraordinai
vers l'axe.

Dans ce cas, la variation de la m
tion extraordinaire est représent
A*c*, X*d*, dont le plus grand axe
AX de la double réfraction, comm
et OC est à O*c*, comme 1/1,548
ou comme 0,6458 est à 0,6418. D

ce du cy-
num dans
que ligne

re, on le
ou d'eau
ure double
l'axe AX,
t disparaît

dre au feu
à ne pas
s un fluide
ble réfrac-
froid aurait
ble réfrac-
ath calcaire.
gues par la
s, tels que
tc.
ne dans l'ex-
n perpendi-
d'un cercle,

érience pré-
ngulaires de
t des plaques
ne structure
plan, et une

Si l'on transmet le rayon perpendiculairement a travers des faces parallèles E, F, qui sont inclinées d 38° 20' relativement à l'axe AX, son plan d'incidenc passant au travers de AX, on obtient les résultat suivans :

Mesure de réfraction perpendiculaire aux faces de la pyramide.	1,5484 p. les rayons ord.
	1,5544 p. les rayons extr
	0,0060 de différence.

On trouvera de la même manière que lorsque le rayon passe perpendiculairement au travers des faces C, D, perpendiculaires à l'axe AX, la mesure de réfraction est la plus grande, ou :

Mesure de réfraction perpendiculaire aux faces du prisme CD.	1,5484 p. les rayons ord.
	1,5582 p. les rayons extr.
	0,0098 de différence.

Il paraît d'après ceci, que dans le *quartz*, la mesure de réfraction extraordinaire augmente du pôle A à l'équateur CD, tandis qu'elle *diminuait* dans le spath calcaire, et le rayon extraordinaire paraît être tiré vers l'axe.

Dans ce cas, la variation de la mesure de la réfraction extraordinaire est représenté par une ellipse *Ac*, X*d*, dont le plus grand axe coïncide avec l'axe AX de la double réfraction, comme dans la fig. 79; et OC est à O*c*, comme 1/1,5484 est à 1/1,5582, ou comme 0,6458 est à 0,6418. Donc, en détermi-

nant le rayon Oa de l'ellipse pour un rayon quelconque Rba, et en divisant 1 par Oa, on obtient la mesure de réfraction extraordinaire pour ce rayon.

Comme la mesure de réfraction extraordinaire est toujours égale à la mesure de réfraction ordinaire, *plus* une certaine quantité qui dépend de la différence des rayons du cercle et de l'ellipse, on peut dire que les cristaux qui possèdent cette propriété, ont une double réfraction *positive*.

DES CRISTAUX A DEUX AXES DE DOUBLE RÉFRACTION.

(95.) Le plus grand nombre des cristaux, soit corps minéraux, soit substances chimiques, a deux axes de double réfraction, ou deux directions inclinées l'une vers l'autre, le long desquelles il n'y a point de double réfraction. Je découvris en 1815 cette propriété de posséder deux axes de double réfraction, et je trouvai qu'elle appartenait à tous les cristaux compris dans le système prismatique de Mohs, ou dont les formes primitives sont :

Le prisme droit ; base un rectangle.
— — un rhombe.
— — un parallélogramme oblique.
Le prisme oblique ; base un rectangle.
— — un rhombe.
— — un parallélogramme oblique.
L'octaèdre; base un rectangle.
— un rhombe.

Dans toutes ces formes primitives, il n'y a pas

…UX.	INCLINAISON des axes.	FORMES PRIMITIVES.
. . . .	2° ou 3°	Prisme oblique, base un rhombe.
…asse. .	5° 20'	Octaèdre, base un rectangle.
. . .	18° 18'	Octaèdre, base un rectangle.
…ite. .	37° 42'	Prisme droit, base un rectangle.
. . .	45° 0'	Prisme droit, base un rectangle.
. . .	60° 0'	Prisme …

Dans les cristaux à *un seul axe* de double réfraction, l'axe a la même position quelle que soit la couleur du faisceau de lumière ; mais dans les cristaux à *deux axes*, les axes changent de position suivant la couleur de la lumière ; de sorte que l'inclinaison des deux axes varie suivant les rayons colorés. On doit cette découverte à M Herschel, qui trouva que dans le *tartrate de potasse et de soude* (sels de la Rochelle), l'inclinaison des axes pour la lumière *violette* était de près de 56°, et pour la lumière *rouge* de 76°. Dans d'autres cristaux, tels que le *nitre*, l'inclinaison des axes pour les rayons *violets*, est plus grande que pour les *rouges ;* mais dans tous les cas, la ligne qui joint l'extrémité des axes est une ligne droite dans tous les rayons colorés.

En examinant les propriétés de la *Glaubérite*, je trouvai que *pour la lumière rouge, elle avait deux axes* inclinés de près de 5°, *et un seul axe pour la lumière violette.*

On supposa d'abord que dans les cristaux à deux axes, un des rayons était réfracté suivant la loi ordinaire des sinus, et l'autre par une loi extraordinaire ; mais M. Fremel a prouvé que les deux rayons sont réfractés suivant des lois de réfraction extraordinaire.

DES CRISTAUX A AXES INNOMBRABLES DE DOUBLE RÉFRACION.

(96.) Dans les divers corps doubles réfracteurs dont on a parlé jusqu'ici, la double réfraction se rapporte à un ou plusieurs axes ; mais j'ai trouvé que dans

l'analcime il y a plusieurs plans, le long desquels il faut que le rayon passe pour ne pas éprouver de double réfraction, quelles que soient les directions dans lesquelles il tombe. Ainsi on peut considérer chacun de ces plans comme contenant un nombre infini d'axes de double réfraction, ou plutôt des lignes le long desquelles il n'y a point de double réfraction. Lorsque le rayon tombe dans une autre direction, de sorte que le rayon réfracté ne se trouve pas dans un de ces plans, il est divisé en deux rayons par la double réfraction. On n'a trouvé aucune autre substance qui possède les mêmes propriétés.

DES CORPS AUXQUELS ON PEUT COMMUNIQUER LA DOUBLE RÉFRACTION PAR LA CHALEUR, UN REFROIDISSEMENT SUBIT, LA PRESSION, OU L'INDURATION.

(97.) Si l'on prend un cylindre de verre CD, (fig. 80), et que l'ayant chauffé au rouge, on le roule le long d'une plaque de métal sur sa surface cylindrique jusqu'à ce qu'il soit froid, il obtiendra une structure double réfractrice permanente, et deviendra un cylindre à un axe positif de double réfraction AX, coïncidant avec l'axe du cylindre et le long duquel il n'y a point de double réfraction. Cette axe diffère de celui du quartz, en ce que, dans le cylindre c'est une ligne fixe, tandis que dans le quartz ce n'est qu'une direction fixe, c'est-à-dire, que toute ligne parallèle à AX n'est pas un axe de double réfraction, mais que la double réfraction le long de cette ligne augmente

à mesure qu'elle approche de la circonférence du cylyndre. La double réfraction est à son maximum dans la direction CD, et est-elle égale dans chaque ligne qui traverse l'axe perpendiculairement?

Si au lieu de chauffer le cylindre de verre, on le plaçait dans un vaisseau plein d'huile ou d'eau bouillante, il obtiendrait *la même structure double réfractrice*, lorsque la chaleur atteindrait l'axe AX, mais cette structure n'est que passagère et disparaît dès qu'on chauffe également le cylindre.

Si l'on avait chauffé également le cylindre au feu ou dans l'huile bouillante, de manière à ne pas amollir le verre, et qu'on l'eut jeté dans un fluide froid, il aurait acquis une structure double réfractrice passagère, comme avant, lorsque le froid aurait atteint l'axe AX; mais son axe de double réfraction AX serait *négatif* comme celui du spath calcaire.

On peut produire des structures analogues par la pression et l'induration de solides mous, tels que les gelées animales, la colle à poisson, etc.

Si le cylindre n'est pas régulier, comme dans l'explication précédente, mais que la section perpendiculaire à l'axe soit une ellipse au lieu d'un cercle, il a deux axes de double réfraction.

De la même manière, si dans l'expérience précédente on se sert de plaques rectangulaires de verre, au lieu de cylindres, on obtient des plaques à *deux plans* de double réfraction; une structure positive étant de chaque côté de chaque plan, et une négative de l'autre.

Si l'on se sert de sphères parfaites, il y a des axes de double réfraction le long de chaque diamètre, et par conséquent un nombre infini d'axes.

Les lentilles cristallines de presque tous les animaux, soit lentilles, sphères ou sphéroïdes, ont un ou plusieurs axes de double réfraction.

Nous donnerons plus de détails sur tous ces phénomènes, lorsque nous parlerons des couleurs produites par la double réfraction.

DES SUBSTANCES A UNE DOUBLE RÉFRACTION CIRCULAIRE.

(98.) Lorsqu'on transmet un faisceau de lumière le long de l'axe AX d'un cristal de quartz (fig. 73), il n'éprouve point de double réfraction, mais on voit le long de cet axe certains phénomènes (que nous décrirons ensuite) qui engagèrent M. Fresnel à examiner la lumière qui passait le long de l'axe. Il trouva qu'elle possédait une nouvelle sorte de double réfraction, et il observa distinctement la réfraction des deux faisceaux. Cette sorte de double réfraction a été nommée *circulaire* à cause de ses propriétés; elle est divisée en deux espèces, *positive* ou de droite, et *négative* ou de gauche.

Substances positives.

Cristal de roche, certains échantillons.	Solution de camphre dans de l'alcool.
Camphre.	Huile essentielle de laurier.
Huile de térébenthine.	Vapeur de térébenthine.

Substances négatives.

Cristal de roche, certains échantillons.	Sirop de sucre concentré.
	Huile essentielle de citron.

En examinant cette sorte de phénomènes, je trouvai que l'améthiste possédait la double réfraction circulaire positive et négative dans le même cristal. Nous traiterons ce sujet plus en détail lorsque nous parlerons de la *polarisation circulaire*.

CHAPITRE XVIII.

De la polarisation de la lumière.

Si l'on transmet un rayon de lumière solaire au travers d'une ouverture circulaire, dans une chambre obscure, et qu'on le fasse réfléchir par un corps cristallisé ou non cristallisé, ou qu'on le transmette au travers d'une plaque mince d'un de ces corps, il est réfléchi et transmis de la même manière et avec la même intensité, soit que la surface du corps soit en dessus ou en dessous, à droite ou à gauche du rayon, pourvu que dans tous les cas il tombe de la même manière sur la surface; ou ce qui revient au même, le rayon solaire a les mêmes propriétés de tous côtés; et cela est vrai, qu'il soit blanc, comme venu directement du soleil, ou rouge, ou de toute autre couleur.

La lumière d'une chandelle, ou de tout corps lumineux, possède les mêmes propriétés, et se nomme lumière *ordinaire*. Une section d'une telle masse de

lumière est le cercle, comme ABCD (fig. 81), et nous exprimerons la section d'une masse de lumière par un cercle avec deux diamètre AB, CD, qui se coupent à angles droits.

Si l'on fait tomber cette même masse de lumière sur un rhombe de spath d'Islande, comme dans la figure 71, et qu'on examine les deux masses circulaires O*o*, E*e*, formées par la double réfraction, on trouve :

1° Que dans les masses O*o*, E*e*, les côtés différens ont des propriétés différentes, de telle sorte que sous ce rapport, chacune diffère de la masse de lumière ordinaire.

2° Que la masse O*o* ne diffère en rien de E*e*, excepté que la première a, aux points A' et B', les mêmes propriétés que la seconde à C' et D', comme dans la figure 76; ou en général, que les diamètres de la masse de lumière, aux extrémités de laquelle celle-ci a des propriétés semblables, sont à angles droits, comme A'B' et C'D', par exemple.

C'est pourquoi l'on dit que ces deux masses de lumière O*o*, E*c* (fig. 81), sont *polarisées*, ou sont des massas de lumière *polarisée*, parce qu'elles out des côtes ou pôles de propriétés différentes; et les plans qui passent par les lignes AB, C A'B', C'D', sappellent les *plans de polarisation* de chaque masse de lumière, parce qu'ils ont la même propriété, et sont les seuls de toute la masse qui la possèdent.

Un fait curieux, est que si l'on réunit en un seul les deux faisceaux polarisés O*o*, E*e*, ou si on les

forme par une plaque de spath d'Islande, qui ne peut les séparer, on obtient un faisceau qui a absolument les mêmes propriétés que le faisceau ABCD de lumière ordinaire.

On en conclut qu'un faisceau de lumière ABCD est composé de deux faisceaux de lumière polarisée, dont les plans de polarisation ou diamètres de propriétés semblables, se coupent à angles droits. Si l'on place Oo au-dessus de Ee, on obtient une figure comme ABCD, et nous représenterons la lumière polarisée par une figure semblable. Si l'on plaçait Oo au-dessus de Ee, de manière à faire coïncider les plans de polarisation A'B', C'D', on aurait un faisceau de lumière polarisée, deux fois aussi lumineux que Oo ou Ee, et possédant exactement les mêmes propriétés, car les lignes de propriété semblable d'un faisceau coïncident exactement avec celles de l'autre.

Il s'en suit qu'il y a trois manières de changer un faisceau de lumière ordinaire en un ou plusieurs faisceaux de lumière polarisée.

1° On peut décomposer le faisceau de lumière ordinaire ABCD, en ses deux parties Oo, Ee.

2° On peut faire tourner les plans de polarisation AB, CD, jusqu'à ce qu'ils coïncident ou soient parallèles.

3° On peut absorber ou détourner un des faisceaux et laisser l'autre, qui sera, par conséquent, polarisé.

La première méthode de produire de la lumière polarisée, est celle dans laquelle on se sert d'un cristal double réfracteur, et dont nous allons parler.

POLARISATION DE LA LUMIÈRE PAR LA DOUBLE RÉFRACTION.

(99.) Lorsqu'un faisceau de lumière éprouve la double réfraction causée par un cristal *négatif*, comme le *spath d'Islande* (fig. 71), où le rayon R*r* tombe sur le plan de la section principale, ou ce qui revient au même, sur un plan qui traverse l'axe, chacun des deux faisceaux *r*O, *r*E, est polarisé; le plan de polarisation du rayon ordinaire *r*O étant dans la section principale ou dans une ligne verticale, et le plan de polarisation du rayon extraordinaire *r*E étant à angles droits avec la section principale, ou dans une ligne horizontale, comme dans la figure 82, où O est une section du rayon ordinaire *r*O (fig. 71), et E une section du rayon extraordinaire *r*E.

Si le rayon de lumière R*r* tombe sur un cristal positif, comme le *quartz*, le plan de polarisation du rayon ordinaire O (fig. 83) est *horizontal*, et celui du rayon extraordinaire *vertical*.

On peut bien voir dans le spath d'Islande, les phénomènes qui proviennent de cette polarisation contraire des deux faisceaux. Soit A*r*X (figure 84), la section principale d'un rhombe de spath d'Islande, au travers de l'axe AX, et perpendiculaire à une des faces, et soit A'FX' une section semblable, toutes les lignes de l'une étant parallèles à celle de l'autre. Un rayon de lumière R*r* étant incident perpendiculairement à *r*, est divisé en deux faisceaux; un or-

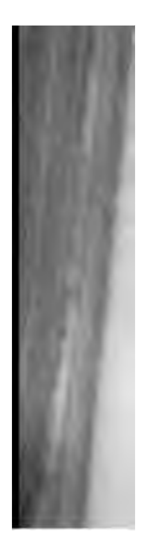
dinaire *r*D, et un extraordinaire *r*C. Le rayon ordinaire tombant sur le second cristal à G, éprouve encore une réfraction extraordinaire, et en sort à K, comme un rayon ordinaire O*o*, dont le plan de polarisation est vertical, comme O (figure 82). De la même manière, le rayon extraordinaire *r*C tombant sur le second cristal à F, éprouve une réfraction extraordinaire, et en sort à H, comme un rayon extraordinaire E*e*, dont le plan de polarisation est horizontal. Les résultats sont exactement les mêmes que si les deux cristaux en eussent formé un seul, en étant joints à leurs surfaces CX, A'G par un ciment ou par une cohésion naturelle.

Laissez maintenant en place le cristal supérieur AX, le même rayon *r*R, tombant dessus, et tournez le second cristal A'X' jusqu'à 90°, de sorte que sa section principale soit perpendiculaire à celle du cristal supérieur, comme dans la figure 85; le rayon *r*G, réfracté ordinairement par le premier rhombe, est réfracté extraordinairement par le second, et le rayon CF, réfracté extraordinairement par le premier rhombe, est réfracté ordinairement par le second.

Les faisceaux ou images du rayon R*r*, dans les figures 84 et 85, peuvent être ainsi décrites comme elles sont tracées dans les figures.

O*o* est le faisceau réfracté *ordinairement* par le premier rhombe.

E*e* est le faisceau réfracté *extraordinairement* par le premier rhombe.



... deux rhombes (fi...

Oe est le faisceau... premier rhombe, et e... (fig. 85).

Eo est le faisceau ... le premier rhombe, ... (fig. 85)

Dans les deux cas ... et 85, où ces plans des rhombes sont ou parall... laires (fig. 85), le rho... capable de refracter dou... un quelconque des fais... mais dans toute autre p... et la perpendicularite d... deux faisceaux formes p... doublement refractes pa...

Pour expliquer leur ... positions intermediaires, ...

deux [illegible]
R. vues [illegible]
derrière [illegible]
au travers [illegible]
que [illegible]
parce [illegible]
tité de [illegible]
rhombe [illegible]
on [illegible]
deux [illegible]
tournant [illegible]
lumineuse [illegible]
comme en [illegible]
à 90° comme [illegible]
également [illegible]
ner le second [illegible]
comme [illegible]
ement [illegible]
lles sont [illegible]
tion [illegible]
[illegible]

Oe est le faisceau
premier rhombe, et *ex*
(fig. 85).

Eo est le faisceau r
le *premier* rhombe, e
(fig. 85)

Dans les deux cas
et 85, où ces plans des
rhombes sont ou parall
laires (fig. 85), le rho
capable de réfracter dou
un quelconque des fais
mais dans toute autre p
et la perpendicularité
deux faisceaux formés p
doublement réfractés pa

Pour expliquer leur
positions intermédiaires
vienne d'une ouverture
cles en A (fig. 86), et q
deux rhombes à HK

deux images placées en A soient celles de l'ouverture R, vues au travers d'un des rhombes par l'œil placé derrière CD (fig. 84), B représente les images vues au travers des deux rhombes dans la même position que dans la figure 84, et leur distance est doublée parce qu'elles ont souffert deux fois la même quantité de double réfraction. Si l'on tourne le second rhombe ou le plus près de l'œil, de gauche à droite, on voit deux images faibles comme à C, entre les deux brillantes qui sont un peu plus faibles. En tournant toujours, les quatre images sont également lumineuses, comme à D; elles paraissent ensuite comme en E; et lorsque le second rhombe est arrivé à 90° comme dans la figure 85, il y a deux images également brillantes, comme en F; continuant à tourner le second rhombe, on voit deux images faibles, comme à G; en continuant encore, elles sont également brillantes, comme à H; encore plus loin, elles sont inégales, comme à I; et à 180° de révolution, lorsque les plans de la section principale sont de nouveau parallèles, et les axes AX, A'X, presqu'à angles droits, toutes les images s'unissent en une seule image brillante, comme à K, ayant le double de l'éclat d'une quelconque de celles à A ou B ou F, ou quatre fois l'éclat d'une quelconque des quatre à D ou H.

Si l'on suit une quelconque des images A, B, de la position de la figure 84, où les sections principales sont inclinées mutuellement de 0° à la position de la figure 85 où elle disparaît à F; on voit que son

éclat diminue dans la même proportion que le carré du cosinus de l'angle formé par les sections principales, tandis que l'éclat d'une image quelconque a son apparition entre B et C (fig. 86) à son plus grand éclat en F, augmente dans la même proportion que le carré du sinus du même angle.

En examinant les phénomènes précédens, on voit que lorsque le plan de polarisation d'un rayon polarisé, ordinaire ou extraordinaire, coïncide avec la section principale, ou lui est parallèle, le rayon est réfracté *ordinairement;* et que, lorsque le plan de polarisation est perpendiculaire à la section principale, le rayon est réfracté *extraordinairement.* Dans toutes les positions intermédiaires, il éprouve les deux sortes de réfraction, et est doublement réfracté, le rayon ordinaire étant le plus brillant si le plan de polarisation est plus près du parallélisme que de la perpendicularité; et le rayon extraordinaire le plus brillant, si le plan de polarisation est plus près de la perpendicularité que du parallélisme. A des distances égales des deux positions, les deux images, ordinaire et extraordinaire, sont également brillantes.

(100.) Il ne paraît pas, d'après l'xpérience précédente, que la polarisation des deux faisceaux soit produite par une force de polarisation résidant dans le spath d'Islande, ou par un changement produit sur la lumière. Le spath d'Islande n'a fait que décomposer la lumière *ordinaire* en ses deux élémens, suivant une loi différente, de la même manière que

prisme décompose la lumière blanche en sept
uleurs du spectre, par sa propriété de réfracter
s couleurs élémentaires à différens degrés. La réu-
on des deux faisceaux polarisés d'une manière op-
sée, produit la lumière ordinaire, de même que
réunion des sept couleurs du spectre produit la
nière blanche.

La méthode d'obtenir de la lumière polarisée par
double réfraction est la meilleure de toutes, parce
'on peut ainsi se procurer sur un faisceau donné
lumière, un rayon polarisé plus grand que de
ute autre manière. Au travers d'une épaisseur de
ois pouces (76 millimètres) de spath d'Islande,
peut obtenir deux masses de lumière polarisée
un tiers de pouce (8 millimètres 45) de diamètre,
chacune de ces masses contient la moitié de la
nière du rayon primitif, excepté le peu de lu-
ère perdue par la réflexion et l'absorption. En
açant sur le spath un pain à cacheter noir vis-à-
s d'un de ces rayons, on peut former un rayon
larisé dont le plan de polarisation soit dans la sec-
n principale ou qui la coupe à angles droits. Dans
utes les expériences sur ce sujet, le lecteur doit se
ppeler que toute masse de lumière polarisée pro-
iite par la réfraction ordinaire ou extraordinaire,
i par des cristaux positifs et négatifs, a toujours les
êmes propriétés, pourvu que le plan de polarisa-
on soit dans la même direction.

cthe par les fenêtres du Lux
la découverte curieuse, qu'
réfléchie, par le *verre* à un an
à un angle de 52° 45', possé
qu'un des rayons formés par
calcaire; c'est-à-dire qu'il éta
son plan de polarisation coïn
réflexion, ou lui étant parall

Ce fait curieux et import
quand la lumière était réfléc
corps transparens et opaques
donna naissance à toutes les d
ce temps, ont rendu cette par
plus intéressantes et des plus
physiques.

Pour expliquer cette décou
tres, découvertes de Malus,
tube de bronze ou de bois, g

semblable de verre B : si l'on enferme le tube DG dans CD, on peut, en tournant l'un ou l'autre, placer les deux plaques de verre dans toute espèce de position l'une par rapport à l'autre.

Soit R*r* un rayon de lumière d'une chandelle, ou d'un trou dans un volet, qui tombe sur la plaque A, sous un angle de 56° 45'; placez le verre de manière à ce que le rayon réfléchi *rs* passe le long de l'axe des deux tubes et tombe en *s* sur la plaque B : si le rayon *rs* arrive sur la plaque B sous une incidence de 56° 45', et si le plan de réflexion de cette plaque, ou le plan qui traverse *s*E et *sr*, est à angles droits avec le plan de réflexion de la première plaque, ou le plan qui passe par R*r* et *rs*, le rayon *rs n'est pas réfléchi* à B, ou l'est si peu qu'on s'en aperçoit à peine. La même chose arrive si *rs* est polarisé par la double réfraction, et que son plan de polarisation soit dans le plan qui passe au-travers de *r*R *rs*. Ainsi, nous avons une nouvelle propriété ou indice de la lumière polarisée, de ne pas être réfléchie par une plaque de verre B, lorsqu'elle tombe dessus sous un angle de 56°, et que le plan d'incidence ou de réflexion est à angles droits avec le plan de polarisation du rayon. Si l'on tourne le tube DG, avec la plaque B, sans remuer le tube CD, le rayon réfléchi le dernier *s*E devient de plus en plus brillant, jusqu'à ce que ce tube soit à 90°, et alors le plan de réflexion B coïncide avec la position du plan A, ou lui est parallèle. Dans cette position, le rayon *s*E est à son plus grand éclat. En continuant à tourner le

tube DG, le rayon *s*E devient de plus en plus faible, et à 90° plus loin, il est à sa plus grande faiblesse et se voit à peine, ce qui arrive lorsque le plan de réflexion de B devient perpendiculaire à celui de A. Après une rotation de 90°, le rayon reprend son plus grand éclat, et à 90° plus loin, lorsque le tube DG et la plaque B reprennent leur position primitive, le rayon *s*E disparaît de nouveau. On peut arranger ces effets en un tableau, comme ci-dessous :

Inclinaison des plans des deux réflexions, ou des plans *r*R*s* et *rs*E, ou azimuths des plans *rs*E.	Eclat de l'image ou rayon *s*E réfléchi par la seconde plaque B.
90°.	A peine visible.
Entre 90° et 180. .	L'image devient de plus en plus brillante.
180°.	Très-brillante.
Entre 180° et 270°.	L'image devient de plus en plus faible.
270°.	A peine visible.
Entre 270° et 360°.	L'image devient de plus en plus brillante.
360° ou 0°. . . .	Très-brillante.
Entre 0° et 90°. .	L'image devient de plus en plus faible.
90°.	A peine visible.

Si l'on substitue au rayon *rs* un des rayons ou faisceaux polarisés formés par le spath d'Islande, de telle sorte que son plan de polarisation soit dans le plan R*rs*, il éprouve les mêmes changemens que le rayon R*r*, lorsqu'il est polarisé par sa réflexion en A, sous un angle de 56° 45'. Il est donc clair qu'un

léchi par le verre à 56° a les mêmes proprié-
ı lumière polarisée par la double réfraction.
Dans les observations précédentes, on a
]ue le rayon rR n'est réfléchi que par la
surfaee du verre; mais Malus a trouvé que
e réfléchie par la seconde surface du verre
sée en même temps que celle réfléchie par
re, quoiqu'elle soit réfléchie à un angle dif-
est-à dire égal à l'angle de réfraction de la
surface.

ɜ de 56° 45', auquel la lumière est polari-
la réflexion du verre, s'appelle son angle
de polarisation, parce que la plus grande
le lumière est polarisée à cet angle. Malus
ıe lorsque la lumière était réfléchie à des
ıs ou moins grands que 56°, il n'y en avait
rtie de polarisée, l'autre gardant toutes les
de la lumière ordinaire. La portion pola-
nuait selon que l'angle d'incidence s'éloi-
6°, et n'était rien à 0°, incidence perpen-
ainsi qu'à 90°, incidence la plus oblique.

tinuant ses expériences sur ce sujet, Malus
e l'angle maximum de polarisation variait
rens corps; et après l'avoir mesuré dans
ıbstances, il conclut *qu'il ne suit ni l'ordre
réfractives, ni l'ordre des forces disper-
s que c'est une propriété des corps indépen-
autres sortes d'action qu'ils ont sur la lu-*

ıvoir déterminé les angles sous lesquels la

Si un faisceau de lumière réflec
mum de polarisation par le verr
corps était aussi complétement polar
polarisé par la double réfraction,
auraient été également invisibles
seconde plaque B, aux azimuths 9
cela n'arrive point : le faisceau pola
réflexion, *disparaît* entièrement,
un second rhombe, même quand
de la lumière directe du soleil ; tanc
polarisé par la réflexion, ne dispa
mière est faible, et si les plaques A
légère force dispersive. Lorsqu'on s
solaire, il y une grande quantité
polarisée, et cette lumière est aug
coup lorsque les plaques A et B ont
dispersive. Ce fait curieux et très-

t le rayon *sE* est invisible, on souffle doucement
la plaque B, le rayon *sE* reparaît, et le corps
neux d'où il vient est aussitôt visible. La cause
st claire : l'haleine dépose sur le verre une mince
he d'eau, et comme l'eau polarise la lumière
un angle de 52° 45', le verre B aurait dû être
né de 52° 45', par rapport au rayon *rs*, pour ne
pouvoir réfléchir le rayon polarisé (1); mais
me il est incliné de 56° par rapport au rayon
lent *rs*, il a le pouvoir de réfléchir une portion
s rayon *rs*.

maintenant, on place le verre B à un angle
2° 45', par rapport au rayon *rs*, il réfléchit
partie du rayon polarisé vers l'œil, placé en E;
si l'on souffle sur le verre B, la lumière réflé-
disparaît, parce que la surface réfléchissante est
eau, et qu'elle est placée à un angle de 52° 45';
s de polarisation pour l'eau; ainsi, si l'on place
deux plaques de verre, l'une inclinée de 56° 45',
re de 52° 45', par rapport au rayon *rs*, et que
ayon soit assez grand pour tomber sur les deux
ues, ce rayon est visible sur une plaque et invi-
sur l'autre; mais, en soufflant sur les deux pla-
, on exécute le paradoxe de ranimer une image
sible, et d'en détruire une visible par le même
le. Cette expérience est plus frappante, si le
n *rs* est polarisé par la double réfraction.

---

(1) Nous négligeons la surface de séparation du verre et de
, et nous supposons que le verre B est opaque.

DE LA LOI DE LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE PAR LA RÉFLEXION.

(103.) D'après une série tres-étendue d'expériences faites pour déterminer les angles maximum de polarisation de divers corps, solides ou fluides, je fus conduit en 1814, à cette simple loi des phénomènes de la polarisation : *la mesure de réfraction est la tangente de l'angle de polarisation* :

Pour expliquer cette loi, et faire voir comment on trouve l'angle de polarisation d'un corps quelconque, dont on connaît la mesure de réfraction, soit MN la surface d'un corps transparent, comme l'eau. D'un point quelconque, *r*, (*fig.* 88,) menez *r*A perpendiculaire à MN et du point *r* comme centre, décrivez un cercle MAND. Au point A menez AF qui touche le cercle en A et sur l'échelle où A*r* est 1 ou 10, marquez AF égal à 1,330 ou 13, 36, mesure de réfraction de l'eau. Joignez *r*F, qui est le rayon incident polarisé par la réflexion de l'eau dans la direction *r*S. L'angle A*r*R est 53° 11' angle maximum de polarisation pour l'eau. On peut obtenir plus promptement cet angle en cherchant 1, 336 dans la colonne des tangentes naturelles, dans un livre de logarithmes, et on trouvera vis-à-vis l'angle correspondant de 53° 11'. Si l'on calcule l'angle de réfraction T*r*D, correspondant à l'angle d'incidence A*r*R, ou qu'on le détermine par la projection, on trouve qu'il est de 36° 49'.

On peut tirer les conclusions suivantes de la loi précédente :

1°. L'angle maximum de polarisation pour toutes les substances quelconques, est le complément de l'angle de réfraction. Ainsi pour l'eau, le complément de 36° 49' est 53° 11', angle de polarisation.

2°. A l'angle de polarisation, la somme des angles d'incidence et de réfraction est égale à un angle droit ou 90°. Ainsi dans l'eau, l'angle d'incidence est 53° 11', et celui de réfraction 36° 49', et leur somme est 90°.

3°. Lorsqu'un rayon de lumière R*r*, est polarisé par la réflexion, le rayon réfléchi *r*S forme un angle droit avec le rayon réfracté *r*T.

Lorsque la lumière est réfléchie par la seconde surface des corps, la loi de polarisation est celle-ci :

La mesure de réfraction est la cotangente de l'angle de polarisation.

Pour déterminer l'angle dans ce cas, soit MN la seconde surface d'un corps quelconque comme l'eau. Du point *r*, (fig. 89), menez *r*A perpendiculaire à MN, et du point *r*, comme centre, décrivez le cercle MAN. Au point A, menez AF, qui touche le cercle en A, et sur l'échelle, où *r*N est 1 ou 10, prenez AF égal à 1, 336, ou 13, 36, mesure de réfraction, et joignez F*r*. Le rayon *r*R est polarisé lorsqu'il est réfléchi dans la direçtion *r*S. L'angle maximum de polarisation A*r*R est 36° 49', exactement égal à l'angle de réfraction de la première surface. Il s'en suit :

1°. Que l'angle de polarisation, à la seconde surface des corps, est égal au complément de l'angle de

polarisation à la première, ou à l'angle de réflexion de cette surface. On voit donc clairement pourquoi les parties d'une masse de lumière réfléchies aux premières et secondes surfaces d'une plaque transparente parallèle, sont simultanément polarisées.

2° Que l'angle formé par le rayon réfléchi S avec le rayon réfracté T, est un angle droit.

Les lois de polarisation que nous venons de décrire sont applicables aux surfaces de séparation de deux milieux de différentes forces réfractives. Si le fluide supérieur est l'eau, et l'inférieur le verre, la mesure de réfraction de leur surface de séparation est égale à 1, 525:1, 336, ou à la plus grande mesure de réfraction divisée par la plus petite, ce qui donne 1, 1415. En se servant de cette mesure, on trouve que l'angle de polarisation est 48° 47'.

Lorsque le rayon passe de la plus petite surface réfractive dans la plus grande, comme de l'eau au verre, comme dans le cas précédent, il faut se servir de la loi et de la méthode décrites ci-dessus pour la *première surface* des corps, mais lorsque le corps passe du plus grand corps réfractif au plus petit, comme de l'huile de cassia au verre, il faut se servir de la loi et de la méthode données pour la *seconde* surface des corps.

Si l'on met une couche parallèle d'eau sur du verre, dont la mesure de réfraction est 1, 508, le rayon réfléchi par les deux surfaces réfractrices est polarisé lorsque l'angle d'incidence sur la *première* surface de l'eau est 90°.

(104.) Les observations précédentes sont toutes applicables à la lumière blanche ou aux rayons les plus lumineux du spectre, mais comme chaque couleur différente a une mesure de réfraction différente, cette loi nous met à même de déterminer l'angle de polarisation pour chaque couleur différente, comme dans la table suivante, où l'on suppose que le rayon moyen est le plus lumineux du spectre.

SUBSTANCES.	RAYONS.	MESURE de réfraction.	ANGLE maximum de polarisation.	DIFFÉRENCE entre le plus grand et le petit angle de polarisation.
Eau......	Rouges..	1,330	53° 4'	15'
	Moyens..	1,336	53° 11'	
	Violets..	1,342	53° 19'	
Verre à miroir.	Rouges..	1,515	56° 34'	21'
	Moyens..	1,525	56° 45'	
	Violets..	1,535	56° 55'	
Huile de cassia.	Rouges..	1,597	57° 57'	1° 24'
	Moyens..	1,642	58° 40'	
	Violets.,	1,687	59° 29'	

pour la lumière *rouge*, le fai
entièrement. Mais la lumière
des plaques de 56° 45', ang
rayons jaunes ou moyens, il
jaunes qui disparaissent dans l
tite partie de *rouge* et de *vio*
que les verres ne sont pas à l
tion, et le mélange de ces
une couleur pourpre, qui es
non polarisée qui reste dans l
place les plaques à l'angle de
le *rouge* seul disparaît, et le
vert-bleuâtre. Si les plaques é
correspondant au *bleu*, le *ble*
la lumière non polarisée sera
Dans l'huile de cassia, *le dia*
plomb, *le réalgar*, *le fer spécu*
corps d'une très-haute force

mais il y a toujours une direction où la polarisation n'est pas affectée par la force double réfractive, et où la tangente de l'angle de polarisation est égale à la mesure de réfraction ordinaire.

DE LA POLARISATION PARTIELLE DE LA LUMIÈRE PAR LA RÉFLEXION.

(105.) Si dans l'appareil de la figure 87, on fait tomber le rayon R*r* sur la plaque A, sous un angle *plus grand* ou *plus petit* que 56° 45', le rayon *s*E ne disparaît pas entièrement; mais, comme une grande partie disparaît comme la lumière polarisée, Malus l'appela *lumière polarisée partiellement*, et la considéra comme composée d'une portion de lumière parfaitement polarisée, et d'une autre de lumière ordinaire. Il trouva que la lumière polarisée diminuait à mesure que l'angle d'incidence s'éloignait de l'angle maximum de polarisation.

MM. Biot et Arago soutinrent aussi que la lumière polarisée partiellement était composée de lumière polarisée et de lumière commune, et ce dernier annonça qu'à des distances régulières ordinaires en-dessus et en-dessous de l'angle maximum de polarisation, le faisceau réfléchi contenait la même proportion de lumière polarisée. Dans du *verre de St-Gobin*, il trouva que sous une incidence de 11° 40', la proportion de lumière polarisée était la même qu'à 80° 18'. Il trouva aussi que dans l'*eau*, sous un angle de 3° 29', a proportion de lumière polarisée était la

même qu'à 73° 48', mais il remarque « que la loi mathématique qui joint la valeur de la quantité de lumière polarisée avec l'angle d'incidence, et la force réfractrice du corps n'a pas encore été découverte. »

En examinant ce sujet, je trouvai que quoiqu'il n'y eut qu'un seul angle auquel la lumière pût être entièrement polarisée par une seule réflexion, elle pouvait être polarisée à tout angle d'incidence, *par un nombre suffisant de réflexions*, comme dans la table suivante.

AU-DESSOUS DE L'ANGLE de polarisation.		AU-DESSUS DE L'ANGLE de polarisation.	
N° des réflexions.	Angle auquel la lumière est polarisée.	N° des réflexions.	Angle auquel la lumière est polarisée.
1	56° 45'	1	56° 45'
2	50° 26'	2	62° 30'
3	46° 30'	3	65° 33'
4	43° 51'	4	67° 33'
5	41° 43'	5	69° 1'
6	40° 00'	6	70° 9'
7	38° 33'	7	71° 5'
8	37° 20'	8	71° 51'

En polarisant la lumière par des réflexions successives, il n'est pas nécessaire que les réflexions soient faites au même angle. Il peut y en avoir au

dessus et au-dessous de l'angle de polarisation, ou bien toutes les réflexions peuvent être faites à différens angles.

Une conséquence nécessaire des faits précédens, est que la lumière partiellement polarisée ou réfléchie à un angle différent de l'angle de polarisation, a souffert un changement physique qui la fait polariser plus facilement par la réflexion subséquente. Par exemple, la lumière qui reste non polarisée après cinq réflexions à 70°, au lieu d'être de la lumière ordinaire, a éprouvé un tel changement physique, qu'elle est capable d'être complétement polarisée par une seule réflexion suivante, à 70°.

Mon opinion à ce sujet a été rejetée par M. Arago, comme incompatible avec ses expériences et ses calculs, et en comparant les deux opinions, M. Herschel a rejeté la mienne comme la moins probable. On verra cependant par les faits suivans qu'elle est capable de la démonstration la plus rigoureuse.

On ne voit pas, dans les recherches précédentes, comment une masse du lumière ordinaire est changée en lumière polarisée par la réflexion. J'ai détruit cette difficulté par une série d'expériences faite en 1829. On sait depuis long-temps que le plan de polarisation d'une masse de lumière polarisée est changé par la réflexion. Si le plan est incliné de 45° par rapport au plan de réflexion, son inclinaison est diminuée par une réflexion à 80°, encore plus à 70°, encore plus à 60°; et à l'angle de polarisation, le plan du rayon polarisé est dans le plan de réflexion, l'in-

clinaison recommençant à des réflexions au-dessus de l'angle de polarisation, et augmentant de nouveau jusqu'à ce que, à 0° ou à une incidence perpendiculaire, l'inclinaison soit encore de 45° (1). Je supposai alors qu'une masse de lumière ordinaire, tombât, comme dans la figure 87, sur une surface capable de réflexion, de telle sorte que le plan de réflexion bissectât l'angle de 90°, que les deux plans de polarisation AB, CD, formaient l'un avec l'autre, comme dans la figure 90, n° 1, où MN est le plan de réflexion, et AB, CD, les plans de polarisation de la masse de lumière blanche, chacune inclinée de 45° par rapport à MN. Après une réflexion d'un verre, (dont la mesure de réfraction est 1, 525, à 80°, l'inclinaison de AB par rapport à MN est de 33° 13', comme dans le n° 2, au lieu de 45°; de la même manière, l'inclinaison de CD par rapport à MN, est de 33° 13' au lieu de 45°; de sorte que l'inclinaison de AB envers CD, au lieu de 90°, est 66° 26', comme dans le n° 2. A une incidence de 65°, l'inclinaison de AB par rapport à CD, est 25° 36', comme dans le n° 3; et à l'angle de polarisation de 56° 45', les plans AB, CD des deux masses coïncident, ou sont parallèles, comme dans le n° 4. A des incidences au-dessous de 56° 45', les

(1) Voici la règle pour trouver l'inclinaison : Cherchez la somme et la différence des angles d'incidence et de réfraction, divisez le cosinus de la première par le cosinus de la seconde, et le quotient est la tangente de l'inclinaison demandée.

plans sont séparés, et leur inclinaison mutuelle augmente jusqu'à ce que à 0° d'incidence, elle soit de 90°, comme dans le n° 1; ayant été de 25° 36' à une incidence de près de 48° 15', comme dans le n° 3; et de 66° 26' à une incidence de près de 30°, comme dans le n° 2.

Dans le procédé que nous venons de décrire, on voit de quelle manière la *lumiere ordinaire* du n° 1 est changée en la *lumière polarisée* du n° 4, par l'action d'une surface capable de réflexion. Chacun des deux plans des rayons polarisés qui la composent est amené à un état de parallélisme, de sorte que le faisceau n'a qu'un seul plan de polarisation, comme dans le n° 4; sorte de polarisation essentiellement différente en sa natnre de celle de la double réfraction. Les numéros de la figure 90 nous font voir des masses de lumière en *différens états de polarisation*, de la lumière ordinaire du n° 1, à la lumière polarisée du n° 4. Dans le n° 2, la lumière s'est approchée de la polarisation, ayant souffert un changement physique dans l'inclinaison de ses plans; et dans le n° 3, elle en est encore plus près. On découvre ainsi tout le mystère de la *polarisation partielle;* l'on voit que *la lumière partiellement polarisée est celle dont les plans de polarisation sont inclinés à des angles moindres que* 9°. On voit donc clairement l'influence des réflexions successives. Une réflexion à 80° change les plans, comme dans la figure 90, n° 2; une autre à 80°, les rapproche encore plus; une troisième encore plus, et ainsi de

Angles d'incidence.	Inclinaison des plans de polarisation AB, CD, figure 90.	Quantité des rayons réfléchis sur 1000.	Quantité des rayons polarisés sur 1000.
0°	90° 0'	43,23	0,00
20	80 26	43,41	7,22
40	47 22	49,10	33,25
56 45'	0 0	79, 5	79, 5
80	37 4	162,67	129, 8
70	66 26	391, 7	156, 6
85	78 24	616,28	123,75
90	90 0	1000,00	0,00

CHAPITRE XX.

De la polarisation de la lumière par la réfraction ordinaire.

(106.) Quoiqu'on eût pu [illegible] que la lumière réfractée par les corps éprouve quelque [illegible] correspondant à celui qu'elle éprouve par la réflexion, ce n'est qu'en 1811 qu'on a [illegible] que la partie réfractée du faisceau [illegible] de lumière polarisée (1).

Pour expliquer cette propriété de la lumière, soit Rr, (fig. 91), un faisceau de lumière, incident à un angle entre 80° et 90°, sur une plaque [illegible] de verre n° 1; une portion est réfléchie à [illegible] surfaces r et a, et l'on trouve que le faisceau réfracté a, contient une petite portion de lumière polarisée.

Si ce faisceau a tombe sur une seconde plaque n. 2, parallèle à la première, il éprouve deux réflexions, et le faisceau réfracté b contient plus de lumière polarisé que a. De même en le faisant passer au travers des plaques n° 3, 4, 5 et 6, le dernier faisceau réfracté f, se compose entièrement, autant qu'on peut en juger, de lumière polarisée. Mais, ce

---

(1) Cette découverte fut faite par les observations, indépendantes les une des autres, de MM. Malus, Biot, et de l'auteur de cet ouvrage.

qui est très-intéressant, c'est que le rayon *fg* n'est pas polarisé dans le plan de réfraction ou de réflexion, mais dans un plan qui leur est perpendiculaire; c'est-à-dire que son plan de polarisation, au lieu d'être vertical, comme celui du rayon ordinaire dans le spath, ou celui de la lumière polarisée par la réflexion, est horizontal comme celui du rayon extraordinaire du spath d'Islande. Par un grand nombre d'expériences, je trouvai que la lumière d'une bougie, à la distance de 10 ou 12 pieds (3048 ou 3658 millim.), était polarisée aux angles suivans par le nombre suivant de plaques de crown-glass :

Nombre des plaques de crown-glass.	Angles auxquels le faisceau est polarisé.	Nombre des plaques de crown-glass.	Angles auxquels le faisceau est polarisé.
8	79° 11'	27	57° 10'
12	74 0	31	53 28
16	69 4	35	50 5
21	63 21	41	45 35
24	60 8	47	41 41

Il suit des expériences précédentes, que si l'on l'on divise le nombre 41, 84 par un nombre quelconque de plaques de crown-glass, on a la tangente de l'angle auquel le faisceau est polarisé par ce nombre.

Il est donc clair que la force de polarisation de la

lumière refractée augmente suivant l'angle d'incidence, n'étant rien à son incidence minimum ou perpendiculaire ou 0°. et la plus grande possible à son maximum, qui est de 90°. Je trouvai aussi, par diverses expériences, que la force de polarisation de la lumière, sous un angle quelconque, augmentait suivant la force refractive du corps, et que par conséquent il faut moins de plaques d'un corps d'une grande force refractive que d'un corps d'une moindre force réfractive pour le même angle d'incidence.

De la même manière que MM. Malus, Biot et Arago considéraient les faisceaux a, b, etc., avant d'être complétement polarisés, comme de la lumière *partiellement polarisée*, et comme composée de lumière ordinaire, et de lumière polarisée; je conclus de mon côté, par le raisonnement suivant, que la lumière non polarisée a souffert un changement physique, qui l'a fait approcher de la polarisation complète. Car puisqu'il faut seize plaques pour polariser complétement un faisceau de lumière incident à 69°, il est clair que huit plaques ne polarisent pas le faisceau entier au même angle, et qu'elles laissent une portion *non polarisée*. Si cette portion n'était point du tout polarisée, comme la lumière ordinaire, elle devrait passer au travers de seize autres plaques pour être complétement polarisée à un angle de 69°; mais elle n'a qu'à passer au travers de huit plaques pour être polarisée complètement. J'en conclus que la lumière a été polarisée presque de moitié par les huit premières plaques, et complétement par les huit

autres. Cette conclusion, quoique rejetée par les savans français et anglais, est susceptible d'une démonstration rigoureuse, comme on le verra par les observations suivantes :

Pour déterminer le changement que la *réfraction* produisait dans le plan de polarisation d'un rayon polarisé, je me servis de prismes et plaques de verre, de plaques d'eau et d'une plaque de verre métallique d'une très-haute force réfractive; je trouvai qu'une surface réfractrice produisait le plus grand changement à l'incidence la plus oblique, ou de 90°, et que ce changement diminuait jusqu'à une incidence perpendiculaire, ou de 0°, où il n'était rien. Je trouvai aussi que le plus grand effet produit par une seule plaque de verre était de 16° 39', à un angle de 86°; de 3° 5', à un angle de 53°, de 1° 12'; à un angle de 30° ; et de 0° à un angle de 0° (1).

Donc, dans un faisceau de lumière ordinaire, comme dans la figure 92, n° 1, dont chacun des plans AB, CD, est incliné de 90° 45° par rapport au plan de réfraction, ces plans sont séparés de 16° 59', par une plaque de verre à une incidence de 86°; c'est-à-dire, que leur inclinaison mutuelle, au lieu d'être de 90° est de 123° 18', comme dans le n° 2.

L'action de deux ou trois autres plaques les sé-

---

(1) Voici la règle pour trouver l'inclinaison : — Cherchez la différence des angles d'incidence et de réfraction, et prenez le cosinus de cette différence. Le nombre est la cotangente de l'inclinaison demandée, dont le double est l'inclinaison de AB par rapport à CD.

... mathématiquement c...
approchent tellement, que
le faisceau est complèteme...
mière d'une force ordinaire
par la réfraction, n'est que
et a les mêmes propriétés q...
ment polarisée par la réflex...
de la lumière, d'un faisceau
risée, disparait lorsqu'elle
de polarisation par la plaqu...
quantité que j'ai appris ailleu...
dans la table suivante pour
verre, dont la mesure de réf...

---

(1) Voyez *Transactions philoso...*
ou *Journal des Sciences d'Edimbou...*
page 218.

Angles d'incidence.	Inclinaison des plans de polarisation AB, CD (fig. 90).	Quantité de rayons transmis sur 1000.	Quantité de rayons polarisés sur 1000.
0°	90° 0'	956, 77	0, 00
20	90 26	966, 59	7, 22
40	92 0	950, 90	33, 25
56° 45'	94 58	920, 5	79, 5
70	98 56	837, 33	129, 8
80	104 55	608, 3	156, 6
85	108 44	383, 72	123, 75
90	112 58	000, 00	000, 00

Quoique la quantité de lumière polarisée par la réfraction, donnée dans la dernière colonne de cette table, soit calculée d'après une formule essentielle-nent différente de celle qui sert à trouver la quan-ité de lumière polarisée par la réflexion, il est cu-ieux de voir que les deux quantités sont précisé-ent égales. On en conclut la loi suivante :

Lorsqu'un rayon de lumière ordinaire est réfléchi réfracté par une surface quelconque, la quantité lumière polarisée par la réfraction est exactement ile à celle polarisée par la réflexion.

Cette loi n'est point du tout applicable aux pla-s ainsi qu'elle paraissait l'être d'après les expé-ces de M. Arago.

rsqu'on applique la méthode précédente d'ana-la lumière réfléchie par la seconde surface des es, on obtient cette loi curieuse :

ce que l'incidence devienne de 78° 7
incidence où elle disparait, et où
l'apparence de lumière ordinaire. A
angle, le faisceau contient une qua
polarisée perpendiculairement au p
qui augmente jusqu'à son maximum
qu'à rien à 90° (1).

(107.) Comme un paquet de plaq
sur la lumière et la polarise aussi
flexion à l'angle de polarisation pa
verre, on peut substituer dans l'ap
87, un paquet de plaques de verr
ques A et B. Ainsi, si A (fig. 93)
plaques de verre qui polarise le r
que l'on place le second paquet B
figure, et que les plans de réfract
soient parallèles aux plans de réfr

n'est réfléchi par les plaques de B. Si l'on
autour de son axe, la lumière transmise
ie graduellement, et les plaques du paquet
nt de plus en plus de lumière, jusqu'à ce
s une rotation de 90°, le rayon *vw* dispa-
ute la lumière est réfléchie. En continuant
B, le rayon *bw* reparaît, prend son plus
it à 180°, son minimum à 270°, et son
à 0° après une révolution complète.
:t appareil, on peut faire avec la lumière
et polarisée, les mêmes expériences qu'a-
nière réfléchie et polarisée dans l'appareil
e 87.
vons donné deux méthodes de changer la
·dinaire en lumière polarisée; 1° en sépa-
la double réfraction, les deux faisceaux
ent polarisés, qui forment la lumière ordi-
, en faisant tourner par l'action des forces
s et réfractrices, les plans des deux fais-
ıqu'à ce qu'ils coincident, et forment ainsi
ère polarisée dans un seul plan. Il reste à
une autre méthode, celle de disperser ou
· un des deux faisceaux, différemment po-
ui composent la lumière ordinaire, et de
ıtre faisceau polarisé dans un seul plan. On
uire ces effets avec de l'agathe et de la tour-
:tc.
Si l'on transmet un faisceau de lumière or-
u travers d'une plaque d'agathe, un des
différemment polarisés est changé en lu-

mière nébuleuse dans une position, et l'autre faisceau polarisé l'est à son tour dans une autre position, de sorte qu'il reste un des faisceaux polarisés avec un seul plan de polarisation. On peut produire le même effet avec du spath d'Islande, de l'arragonite, et des sels artificiels préparés d'une manière particulière pour disperser un des faisceaux polarisés différemment (1).

Lorsqu'on transmet de la lumière ordinaire au travers d'une plaque mince de *tourmaline*, un des deux faisceaux différemment polarisés, qui forment la lumière ordinaire, est entièrement absorbé dans une position, et l'autre dans une autre position, l'un d'eux restant toujours avec un seul plan de polarisation. C'est pourquoi on se sert souvent de plaques d'agathe et de tourmaline, soit pour donner un faisceau polarisé dans un plan, ou pour disperser ou absorber un des faisceaux d'une masse composée, lorsqu'on veut l'analyser, ou examiner la couleur et les propriétés de chacun des faisceaux vu séparément.

CHAPITRE XXI.

De la couleur des Plaques cristallisées dans la lumière polarisée.

(109.) Les couleurs brillantes, et les systèmes d'anneaux colorés produits par la transmission de la

---

(1) Voyez *Encyclopédie d'Edimbourg*, vol. XV, p. 600, 601; et *Transactions philosophiques* de 1829, page 146.

lumière polarisée au-travers des corps transparens qui possèdent la double réfraction, sont, sans aucun doute, les plus beaux phénomènes qu'on puisse voir. Les couleurs produites par ces corps furent d'abord découvertes par des observations, indépendantes les unes des autres, M. Arago et de l'auteur de cet ouvrage; elles ont été étudiées avec un grand succès par M. Biot et d'autres auteurs.

Pour expliquer ces phénomènes, préparez un appareil pour polariser, semblable à celui de la figure 87, mais sans tubes, comme dans la figure 94, où A est une plaque de verre qui polarise le rayon *r*R qui tombe dessus à un angle de 56° 45', et le réfléchit polarisé dans la direction *rs*, où il est reçu par une seconde plaque de verre B, dont le plan de réflexion est perpendiculaire à celui de la plaque A, et qui le réfléchit vers l'œil placé en O, sous un angle de 56° 45'.

Pour que le faisceau polarisé *rs* ait un éclat suffisant, il faut substituer à la plaque A un paquet de 10 ou 12 plaques de verre à vitres, ou ce qui vaut mieux, de minces plaques de flint-glass bien huilé. La plaque ou les plaques en A, s'appellent les *plaques de polarisation*, parce qu'elles ne servent qu'à donner un faisceau large et brillant de lumière polarisée. La plaque B s'appelle la *plaque d'analyse*, parce qu'elle sert à analyser ou décomposer, en ses différentes parties la lumière transmise au travers d'un corps quelconque qu'on peut placer entre l'œil et la plaque de polarisation.

presque pas de lumière ... l'œil pl...
l'œil placé en E ; c'est-à-dire que l'œil pl...
voit sur la partie du ciel d'où vient Br, ...
noire ; et lorsqu'on ne voit pas cette ta...
c'est une preuve que les plaques A et B ...
inclinées convenablement. Lorsqu'en re...
B, ou tous les deux, on trouve la positi...
la tache noire est la plus obscure, l'app...
venablement ajusté.

(110.) Ayant pris une plaque mince ...
chaux ou de *mica*, épaisse d'un 20e ou ...
pouce (1,269 mill. ou 0,423), et qu'...
cher, dans un état transparent, ave...
mince ou une lancette, d'une plaque ...
raux, placez-le comme CDEF, de tell...
faisceau polarisé *rs* le traverse perpen...
Si l'on place l'œil à O, et qu'on re...
noire dans la direction *os*, la surfac...
... est entièrement

CDEF, en la laissant perpendiculaire au faisceau polarisé, les couleurs deviennent plus ou moins brillantes sans changer de nature, et l'on trouve deux lignes CD, EF qui se coupent à angles droits, et telles que lorsqu'aucune n'est dans le plan de réflexion *rs*O, on ne voit aucunes couleurs, et l'on voit la tache noire comme si l'on n'avait pas interposé le sulfate de chaux, ou qu'on y eut substitué une plaque de verre. On observe aussi, en continuant à tourner le sulfate de chaux, que les couleurs commencent à reparaître et prennent leur maximum d'éclat lorsque l'une des lignes GH, LK inclinées de 45° par repport à CD et EF, sont dans le plan de polarisation *rs*O. Le plan R*rs*, où la lumière est polarisée, s'appelle le *plan de la polarisation primitive;* les lignes CD, EF, les *axes neutres ;* et GH, KL, les *axes de dépolarisation*, parce qu'ils dépolarisent ou changent la polarisation du rayon polarisé *rs*. L'éclat ou l'intensité des couleurs augmente graduellement depuis la position qui ne donne aucune couleur jusqu'à leur maximum de beauté.

Supposons que la plaque CDEF soit dans la position où elle donne le plus d'éclat aux couleurs, c'est-à-dire que GH soit parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation primitive *r*R*s*, ou au plan *rs*O et que la couleur soit *rouge*. Faisons tourner la plaque B autour du rayon *rs*, commençant à 0°, et gardant toujours la même inclinaison de 56° 45' par rapport au rayon *rs*. Le rouge le plus brillant étant à 0° ; à mesure que la plaque B quitte la position

qu'elle a dans la figure, son éclat diminue graduellement et elle disparaît entièrement à 45°; l'on voit alors la tache noire dans le ciel. Au-delà de 45°, on voit un *vert* faible qui devient de plus en plus brillant jusqu'à 90°, où il est à son maximum d'éclat. Au-delà de 90°, le vert devient de plus en plus pâle jusqu'à 135°, où il disparaît. Là le rouge reparaît, et est à son maximum de clarté à 180°. Les mêmes changemens se répètent pendant que la plaque B passe de 180° à 360° ou 0°, sa position primitive. Il paraît d'après cette expérience, que lorsque la couche CDEF tourne seule, on ne voit qu'une *couleur;* et que lorsque la plaque B seule tourne, on voit *deux couleurs* pendant chaque demi-révolution.

Si l'on répète cette expérience avec des plaques d'épaisseurs différentes, qui donnent différentes couleurs, on trouve que les deux couleurs sont toujours *complémentaires* l'une à l'autre, c'est-à-dire que mêlées ou ensemble elles formeraient de la lumière blanche.

(111.) Pour comprendre la cause de ces beaux phénomènes, placez l'œil entre la couche et la plaque B, et vous verrez que la lumière transmise par la couche est blanche, quelle que soit la position de la couche. Donc la plaque B, par la réflexion, analyse la lumière blanche ou sépare les couleurs. Or, le sulfate de chaux est un cristal double réfracteur, et l'un de ses axes neutres CD est la section d'un plan qui passe par son axe, tandis que EF est la

section d'un plan perpendiculaire à la section principale. Supposons qu'un de ces plans, EF, par exemple, soit placé, comme dans la figure, dans le plan de polarisation *r*R*s* de la lumière polarisée; ce rayon n'est pas double, mais passe dans le rayon ordinaire de la couche cristallisée, et lorsqu'il tombe sur C, il n'est point réfléchi. De la même manière, si l'on place CD dans le plan R*rs*, il passe entièrement dans le rayon ordinaire qui n'est point réfléchi en tombant sur C. Donc, dans ces deux positions, la couche ne forme qu'une seule image ou qu'un seul faisceau ; et comme le plan de polarisation de cette image ou faisceau est perpendiculaire au plan de réflexion de B, aucune lumière n'est réfléchie vers l'œil placé en O. Mais dans toute autre position de la couche double réfractrice CDEF, elle forme deux images d'intensités différentes, comme on peut le voir dans la figure 86; et lorsqu'un des axes de dépolarisation GH ou KL est dans le plan de polarisation primitive, les deux images sont également brillantes et polarisées dans des plans opposés, l'un dans le plan de polarisation primitive, l'autre dans un plan perpendiculaire. Or, l'une de ces images est *rouge* et l'autre *verte*, par des raisons que nous expliquerons ensuite; et comme le vert est polarisé dans le plan de polarisation primitive R*rs*, il n'est point réfléchi par la plaque B; tandis que le rouge étant polarisé perpendiculairement à ce plan, et réfléchi vers l'œil placé en O, est par conséquent le seul qui soit vu. Par une raison semblable, lorsqu'on

tourne B à 90°, elle ne réfléchit pas le rouge, mais elle réfléchit le vert, qui est transmis à l'œil placé en O. Dans ce cas, la plaque B analyse le faisceau de lumière blanche transmis au travers de la couche de sulfate de chaux, en réfléchissant la moitié polarisée dans son plan de réflexion, et refusant de réfléchir celle qui est polarisée dans un plan opposé. Si les deux faisceaux eussent été de la lumière blanche, comme dans les plaques *épaisses* de sulfate de chaux, au lieu de voir deux couleurs différentes pendant la révolution de la plaque B, le faisceau réfléchi *s* O aurait éprouvé différens degrés d'éclat, suivant que les deux faisceaux blancs, différemment polarisés, auraient été plus ou moins réfléchis, les positions du plus grand éclat étant celles où le vert était le plus brillant, et les plus obscures, celles où l'on ne voyait aucune couleur.

(112.) L'analyse du faisceau blanc composé de deux faisceaux *rouge* et *vert*, a été effectuée par la propriété de la plaque, de réfléchir l'un et de transmettre ou réfracter l'autre; mais on peut analyser le même faisceau de plusieurs manières différentes. Si on le fait passer au travers d'un rhombe de spath calcaire assez épais pour séparer le rouge du vert par la double réfraction, on voit en même temps les deux faisceaux colorés, ce qui ne se pouvait dans le premier cas, l'un formant l'image ordinaire, l'autre l'image extraordinaire. Eloignez maintenant la plaque B, mettez à sa place un rhombe de spath calcaire, dont la section principale soit dans le plan

de réflexion *rs*O, ou perpendiculaire au plan de polarisation primitive R*rs*, et faites, dans le côté du rhombe le plus éloigné de l'œil, une ouverture ronde, assez grande pour que les deux images de l'ouverture, formées par la double réfraction, puissent se toucher. Otez la couche CDEF, et l'œil placé derrière le rhombe ne voit que l'image extraordinaire de l'ouverture, l'ordinaire ayant disparu. Replacez la couche, avec son axe neutre, comme dans la figure, parallèle ou perpendiculaire au plan R*rs*, et aucun effet n'est produit; mais si l'on place dans le plan R*rs* un des axes de polarisation, l'image ordinaire de l'ouverture est d'un rouge brillant, et l'extraordinaire d'un vert brillant, le rhombe ayant séparé par la double réfraction ces deux faisceaux différemment colorés et polarisés. En tournant la couche, les couleurs varient d'éclat, mais chaque image a toujours la même couleur. Si l'on laisse la couche dans la position qui donne les plus belles couleurs, et qu'on fasse tourner le rhombe de spath calcaire, de sorte que sa section principale fasse une révolution complète, on voit qu'à 45° de leur position première, les deux images deviennent entièrement blanches. A 90°, l'image ordinaire, qui était *rouge*, est *verte*, et l'image extraordinaire qui était *verte*, est *rouge*. Les deux images sont blanches à 135°, 225° et 315°; à 180°, l'image ordinaire est *rouge* et l'extraordinaire est *verte*; à 270°, l'image ordinaire est *verte*, et l'autre est *rouge*.

Si l'on fait un grande ouverure circulaire, sur la

face du rhombe, les images ordinaires et extraordi naires O, E, se couvrent mutuellement en partie comme dans la figure 95; les parties couvertes F, G sont d'un blanc pur, et les parties C et D ont le couleurs ci-dessus décrites. Cette expérience fait voi que les deux couleurs à C et D sont complémen taires, et forment de la lumière blanche.

On peut aussi analyser le faisceau composé trans mis par le sulfate de chaux, avac une plaque d'a *gate*, ou d'un des autres cristaux préparé artifi ciellement, pour disperser un des faisseaux qui l composent. L'agate étant placée entre l'œil et l couche CDEF, disperse en lumière nébuleuse l faisceau *rouge*, et permet au *vert* d'atteindre l'œil tandis que dans une autre position, elle disperse l *vert* et permet au *rouge* d'atteindre l'œil. Avec un morceau convenable d'agate, cette expérience est agréable et instructive, car la lumière nébuleuse, dispersée autour de l'image brillante, est rouge lorsque l'image distincte est verte, et verte lorsqu l'imagé distincte est rouge.

On peut aussi analyser le faisceau én le faisant absorber par la tourmaline, et d'autres substance semblables. Dans une position, la tourmaline ab sorbe le vert et laisse passer le rouge; dans un autre, elle absorbe le rouge et laisse passer le vert. Mais sa couleur jaune est un désagrément.

On peut encore faire cette analyse avec un paquet de plaques de verre, comme A ou B, (*fig.* 93). Dans une position, ce paquet transmet le rouge et

vert, dans une autre position, il transmet
·éfléchit le rouge d'une maniére opposée
a plaque d'analyse B, (*fig.* 94.) mais sui-
êmes règles
ans toutes ces expériences, on a supposé
ieur de la plaque de sulfate de chaux don-
une teinte rouge et verte; mais si l'on
couche épaisse d'un o, 00046 de pouce
:,01), et qu'on la place à CDEF (fig. 94)
oduit point de couleurs, et l'on voit la,
: dans le ciel, quelle que soit la position de
Une couche de 0,00124 (o mill., 0314)
blanc du premier ordre des couleurs de
voyez pages 134 et 135), et une couche
: o, 01818 (o, millimèt. 46546) donne,
es plaques encore plus épaisses, un blanc
e toutes les couleurs. Des couches ou pla-
: épaisseur intermédiaire entre 0,00124
. 03149) et 0,01818 (o, millim 46228),
outes les couleurs intermédiaires de la table
1, entre le blanc du premier ordre, et le
ié par le mélange de toutes les cou'eurs,
e, que les couleurs réfléchies vers l'œil
O, sont celles de la seconde colonne, et
n observe en tournant la plaque B, celles
isième; une série de couleurs répondant
s réfléchies des plaques minces, et l'autre,
intes transmises. Pour déterminer l'épais-
e couche de sulfate de chaux, qui donne
ur particulière de la table, il faut avoir

dont le nombre correspondan
verre est 3 2/5, on dit que 3
0,00124 est à, 0,00211 (o, m
seur qui donne le rouge du
même manière, en cherchant
che de cette substance, on peut
qu'elle produit.

Puisque les couleurs varien
de la plaque, il est clair que
coin de sulfate de chaux, dont
0,00124 (o, millimètres 03149
limètres 46228), on observe à
leurs de Newton en raies para
une expérience du même gen
vante; prenez une plaque de s
(*fig.* 96), dont l'épaisseur surpa
limètres 46228). Collez-la sur
colle à poisson, et, la placa

ortion de sa substance, et polit la surface
tour, à un certain degré. Si l'on place la
)EF, (fig. 94), on verra toutes les couleurs
de Newton, en anneaux concentriques,
ıs la figure 96. Si l'épaisseur diminue
, les anneaux sont très-resserrés, mais si
aillée est grande, et que l'épaisseur dimi-
ent, les bandes colorées sont larges. Au lieu
autour de la concavité, il vaudrait peut-
la faire en enfonçant peu à peu par frot-
surface convexe d'un très-grand rayon, et
ıt du plus bel émeri. Lorsque la plaque MN
éparée, on peut donner le plus grand poli à
aillée en collant dessus une plaque de verre
ıume de Canada; le baume sèche, et l'on
:r la plaque aussi long-temps qu'on veut.
ıt faire par cette méthode les plus beaux
omme ceux des billets de banque, etc.,
plaque de sulfate de chaux, épaisse de
o, millimètres 46228), collée à du verre.
tracer sur le mineral, à différentes pro-
les lignes qui composent le patron, de
laisser plusieurs épaisseurs du minéral qui
t différentes couleurs lorsqu'on placera la
ıs l'appareil de la figure 94. On peut exé-
la même manière des dessins colorés d'a-
ı de paysages, en amenant le minéral à l'é-
ıui donne la couleur demandée; on produit
:t effet par une plaque gravée en relief, ou
'eau et d'autres fluides qui dissolvent le sul-

Comme les couleurs p
riences précédentes varie
corps qui les produit, il e
superposées, ayant des li
lèles ou coïncidentes, donn
pondante à la somme de leur
couleur qui provient du mé
qu'elles produisent séparéme
deux couches de sulfate de c
l'*orangé* du premier ordre, c
pondant dans la dernière co
Newton, pages 134 et 135,
l'autre donne le *rouge* du s
nombre est 11 5/6; en ajoutan
tient 17 qui correspond au *ve*
Mais si les deux plaques sont
lignes semblables soient perpe
ou couleur qu'elles

les mêmes couleurs, elles détruisent mu-
leur effet, et produisent le noir, la diffé-
ombres étant O. D'après ce principe, on
er différentes couleurs en croisant des
ez épaisses pour ne pas donner de cou-
ement, pourvu que la différence de leurs
ne surpasse pas 0, 01818 (0 mill. 46228),
différence est plus grande, la teinte est
hors des limites de la table.

mière polarisée employée dans les expé-
récédentes, est homogène, les couleurs ré-
r la plaque B sont toujours celles de la
nt on se sert. Dans la lumière rouge, par
les couleurs ou teintes qui se succèdent
épaisseurs du minéral, sont rouges à l'une
suivante, rouges à une autre, noires à
, et ainsi de suite pour toutes les autres

lace la plaque de la figure 96 dans la lu-
ge, les anneaux A, B sont moindres que
nière *violette*; à des couleurs intermé-
s sont d'une grandeur intermédiaire,
anneaux des plaques minces décrits ci-
rsqu'on se sert de lumière blanche, les
ystèmes d'anneaux sont combinés de la
nière que dans les minces plaques d'air,
par leurs combinaisons les anneaux co-
table de Newton.

distance de l'œil ou de la plaqu
distinctement sa surface; et dan
savans, cette distance était con
j'adoptai une nouvelle méthode
couche ou cristal à examiner, a
de l'œil, en interposant une
épaisse d'un quart de pouce (6
dans la figure 94, entre le crist
chir la lumière transmise par le
par ce moyen, les systèmes d'an
des axes des cristaux à un
forment les plus brillans phéno
et qui, par leur analyse, ont
les découvertes les plus import

Je les découvris dans le ru
topaze, la glace, le nitre, et dan
corps; le docteur Wollaston l
dans le spath d'Islande.

, perpendiculaires à l'axe de double réfrac-
:. Mais comme cela est difficile sans l'aide
idaire, j'ai adopté la méthode suivante, qui
de transmettre de la lumière le long de
X, sans toucher au rhombe. Soit CDEF
) la section principale du rhombe, collez,
baume du Canada, sur les deux surfaces CD,
ux prismes DLK, FGH, dont les angles D,
'GH sont égaux, et de près de 41°; en lais-
nber perpendiculairement un rayon de lu-
ır la face DL, il passe le long de l'axe AX, et
rpendiculairement à FG. Placez le rhombe
éparé dans le faisceau polarisé *rs* (fig. 94), de
ıe *rs* puisse passer auprès de l'axe AX, et pla-
rhombe aussi près que possible de B. Lors-
lace l'œil très-près de B, et qu'on regarde le
O *s* comme au travers de l'image réfléchie du
: CE, on voit le long de l'axe AX un système
d'anneaux colorés, comme ceux de la figure
ıpés par une croix noire rectangulaire ABCD,
; bras se rencontrent au centre des anneaux.
.ıleurs de ces anneaux sont exactement les
que celles de la table de Newton, et par con-
: les mêmes que celles du système d'anneaux
r la réflexion de la plaque d'air entre les deux
s. Si l'on fait tourner le rhombe autour de son
ɜs anneaux n'éprouvent aucun changement;
l'on fixe le rhombe ou qu'on le maintienne,
ıisant tourner autour de la plaque B; dans les
s 0°, 90°, 180° et 270°, de sa révolution,

[illegible] et que les [illegible] que l'é[illegible] [illegible]. Un voit aussi qu[illegible]

cercle d'un anneau, est à l'aire du cercle :, comme le nombre de la table de Newton pond à la couleur de l'un, est à celui qui l à la couleur de l'autre.

se sert de lumière homogène, on trouve s petits anneaux sont dans le *rouge*, et les ls dans le *violet*; ils sont d'une grandeur aire dans les couleurs intermédiaires, et urs de la couleur de la lumière dont on se parés par des anneaux noirs. Dans la lu- nche, les anneaux formés par les sept cou- combinés et forment le système que nous e décrire, d'après les principes expliqués hapitre XI.

Tous les autres cristaux qui ont un axe de éfraction, donnent un système semblable t le long de cet axe; mais les systèmes t produits par les cristaux *positifs*, comme e, la *glace*, etc., quoiqu'à l'œil ils ne diffè- ien de ceux des cristaux *négatifs*, possèdent riétés différentes. Si l'on combine un sys- nneaux formés par la glace ou la zircone, système d'anneaux du même diamètre, ır du spath d'Islande, on trouve que les tèmes se détruisent, l'un étant positif, et égatif, ce qui vient nécessairement des deux posées de double réfraction que possèdent cristaux.

combine deux plaques de cristaux négatifs, e spath d'Islande et le béril, elles forment

le système d'anneaux qui en
de la somme, mais de la diff
paree; c'est-à-dire qu'il est
produit par la combinaison
d'Islande dont l'épaisseur e
d'épaisseur de la plaque de
se sert, et d'une autre qui d
même grandeur que ceux pro
la glace.

On ne fait pas facilement
combinaison des anneaux, si
cristaux qui ont des faces e
laires à l'axe de double réfrac
de spath d'Islande appelée *spa*
ques *mica* à un seul axe et
bien cristallisés. Lorsque je ne
de ces plaques, je faisais coïn

sitifs ou négatifs, ou l'un négatif et l'autre posi-
, sont ainsi combinés, on interpose entre les pla-
es qui les produisent des couches cristallisées de
fate de chaux ou de mica, on produit les chan-
mens les plus brillans dans la forme et dans la cou-
ur des anneaux. Je trouvai que cette expérience
ait particulièrement brillante lorsque la couche
ait placée entre deux plaques de *spath calcaire basé*
la même épaisseur et prises sur le même cristal.
n les fixant avec leurs faces parallèles, et laissant entre
es un espace suffisant pour introduire les couches
cristal, j'obtins un appareil qui produisait les
énomènes les plus brillans; les anneaux n'étaient
us symétriques autour de l'axe, mais avaient la
us belle variété de formes pendant la rotation des
aques combinées, ce qui s'explique facilement par
s lois générales de la double réfraction et polarisa-
on.

La table des cristaux négatifs indique les corps qui
nnent un système négatif d'anneaux, et celle des
istaux positifs, les corps qui donnent un système
sitif d'anneaux.

(116.) La méthode suivante est celle que j'ai
optée pour savoir si un système d'anneaux est
sitif ou négatif. Prenez une couche de sulfate de
aux, comme CDEF (fig. 97), et marquez sur sa
rface, avec le plus grand soin, les axes neutres
D, EF. Fixez cette couche, avec un peu de cire,
r la surface LD ou FG du rhombe qui produit le
stème négatif d'anneaux. Si la couche ne produit

principal du s
traverse les deux autr
EF qui traverse les qua
pal du sulfate de chaux
telle. Nous supposerons
principal. Si l'on veut e
d'anneaux est positif o
traverser les anneaux p
la couche; si elle effac
ordre dans les quarts qu
négatif; mais si elle effac
deux quarts qu'elle ne
positif. Il est de peu d'in
leur polarisée par la cou
la teinte d'une nature se
d'anneaux qu'on examine

(117.) Pour expliquer
vus autour des axes des
les d

n corps cristallisé, et que, lorsqu'on connaît la couleur d'une épaisseur, on peut la déterminer pour toutes les autres, l'inclinaison du rayon par rapport à l'axe restant toujours la même. Il faut donc considérer seulement l'effet de l'inclinaison par rapport à l'axe. Il est clair que le long de l'axe du cristal, où les deux lignes noires AB, CD (fig. 98) se rencontrent, il n'y a ni couleur ni double réfraction. Lorsque le rayon polarisé est légèrement incliné par rapport à l'axe, on voit une teinte faible comme le bleu du premier ordre de la table de Newton, et à mesure que l'inclinaison augmente, on voit les couleurs de la table de Newton se développer successivement du noir du premier ordre jusqu'au blanc rougeâtre du septième. Il paraît donc que l'augmentation d'inclinaison de la lumière polarisée par rapport à l'axe, correspond à une augmentation d'épaisseur, de sorte que si l'épaisseur était toujours la même, la différence d'inclinaison produirait seule les différentes couleurs de la table. Or on a trouvé par expérience, que dans la même épaisseur du minéral, la valeur numérique des teintes, ou les nombres de la troisième colonne de la table de Newton, qui correspondent aux teintes, varient comme le carré du sinus de l'inclinaison de la lumière polarisée par rapport à l'axe. Il s'ensuit que la même teinte est produite à des inclinaisons égales; et par conséquent les teintes semblables sont à égale distance de l'axe des anneaux, ou bien les lignes des teintes égales sont des cercles dont le centre est dans

à 9, comme 0, 500 e
la valeur numérique
Si l'épaisseur du min
la valeur numérique d
la même proportion.

Il est clair, d'après
de polarisation ou cel
disparait en même tem
et augmente et diminue
loi. La force de polarisat
de la double réfraction
que les cristaux qui on
tion, ont la propriété de
des épaisseurs, ou bien à
beaucoup moindres. Pour
polarisation de différens
nière est de comparer le
épaisseur donnée de chaqu
ment à l'axe, où la force
polarisation est à son max





